FLUENT HELP 算例精选中文版（一）

（《数值计算与工程仿真》专刊）

清洁能源论坛　翻译整理

（WWW.myCFD.CN）

2005 年 4 月 12 日

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

前 言

目前广大FLUENT初学者遇到的主要困难之一就是缺少中文学习资料，有很多网友在论坛上寻求中文算例，为了给学习FLUENT的朋友提供参考和帮助，迅速提高其应用FLUENT软件的水平，清洁能源技术论坛《数值计算与工程仿真分类区》组织一些会员翻译了 FLUENT 6.1 Tutorial Guide 的部分算例， 因为人力精力的限制，本次翻译仅选择了 Tutorial Guide中的7个经典算例。因为本文是会员利用业余时间翻译的，而且翻译者的水平有限，翻译中的错误在所难免，希望大家批评指正，以便我们进一步改进工作。

在翻译期间，得到“清洁能源技术论坛”各位会员的大力支持，具体的翻译工作如下：

算例 1	sgseal	译	caoqx	校对
算例 4	yangjch1023	译	yangs	校对
算例 5	caohuali	译	yangs	校对
算例 13	lhy	译	pkyforever	校对
算例 15	sgseal	译	caoqx	校对
算例 18	gongzeru	译	summered	校对
算例 21	gongzeru	译	summered	校对

本次工作由caoqx编辑整理完成，本次工作还得到了“清洁能源技术论坛”论坛的brightsun、jackywzq、caohuali、sfsm、mufei等几位版主的大力支持，在此对他们付出的心血和汗水表示衷心感谢。

注意：未经FLUENT公司和本论坛的允许，任何人不得将本文用于商业目的。

清洁能源技术论坛

www.myCFD.cn

目录

前言……………………………………………………………………….………...…...2
目录……………………………………………………………………………...….3

FLUENT 经典算例翻译之一

算例 1　介绍如何使用 Fluent……………………….……………………...…..…..4
算例 4　非定常可压缩流动模型………………………………….…………..…..52
算例 5　辐射与自然对流模拟……………………………………………….…..…..99

FLUENT 经典算例翻译之二

算例 13　使用非预混燃烧模型……………………………………..…………151
算例 15　蒸发性液体喷雾建模……………………………………….…..……214
算例 18　使用混合物多相模型和欧拉多相模型……………………………...…252
算例 21　使用欧拉多相粒子传热模型……………………………..…………278

www.myCFD.cn

算例 1　介绍如何使用 Fluent

引言

此向导通过图例说明了一个发生在混合弯管处的两维湍流流动和传热问题的求解方法和过程。这种混合弯管的结构常见于发电厂和化工厂的管道系统中。正确计算出弯管内流体交汇处附近的流场和温度场分布，对于设计合适的入口管道位置具有重要意义。

通过此向导，用户可学会以下内容：

- 在 Fluent 中输入网格文件
- 使用混合单位制去定义几何体和流体的属性
- 设置强制对流的湍流流动的流体物性和边界条件
- 迭代计算并使用残差监视器监测计算过程及其收敛性
- 使用隔离求解器进行求解
- 使用等势图检察流场和温度场
- 运用二阶离散化方法重新计算以获得更佳的温度分布
- 对网格进行温度梯度自适应，进一步求解更佳的温度场分布

前提条件

在学习此向导之前，假设用户还没有使用 Fluent 的经验，不过，已经学习过用户指南第一章中的简单算例，并且熟悉 Fluent 的界面及其指南中的规约。

问题描述

问题如图 1-1 所示。一股温度为 26℃的冷流体流入大管道，在弯管处与另一股温度为 40℃热流体混合。管道的长度单位为英寸，而流体的属性和边界条件则使用国际单位。入口管道的雷诺数为 2.03×10^5，因此，选择湍流流动模型。

www.myCFD.cn

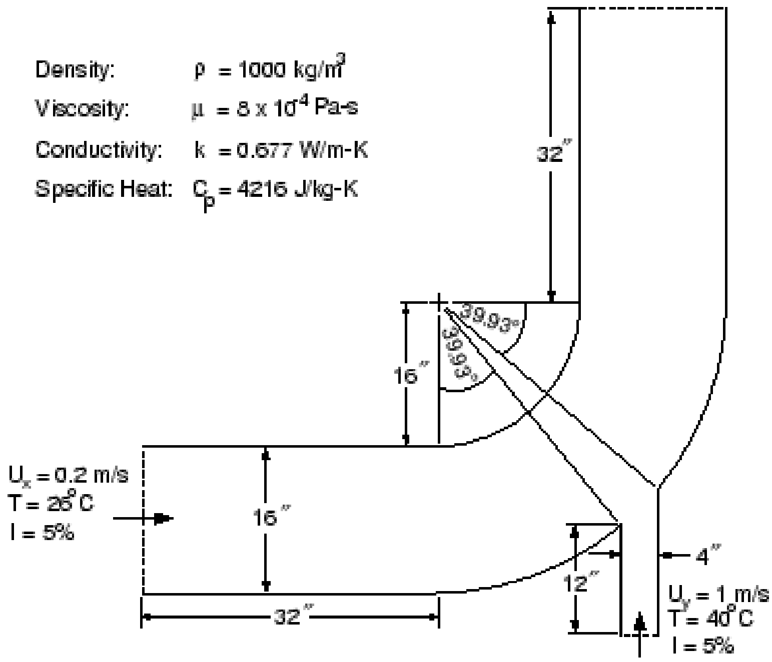


图 1-1 问题说明

准备工作

1. 从 Fluent 的文件光盘中拷贝文件 **elbow / elbow.msh** 到电脑的 Fluent 工作目录中。

   对于 **Unix** 系统，当把文件光盘放入电脑光驱后，可以在以下目录找到这个文件： **/ cdrom / fluent 6.1 / help / tutfiles /**

   上述 **cdrom** 为电脑的光驱目录

   对于 **windows** 系统，当把文件光盘放入电脑光驱后，可以在以下目录找到这个文件： **cdrom : \ fluent 6.1 \ help \ tutfiles **

   上述 **cdrom** 为电脑的光驱目录

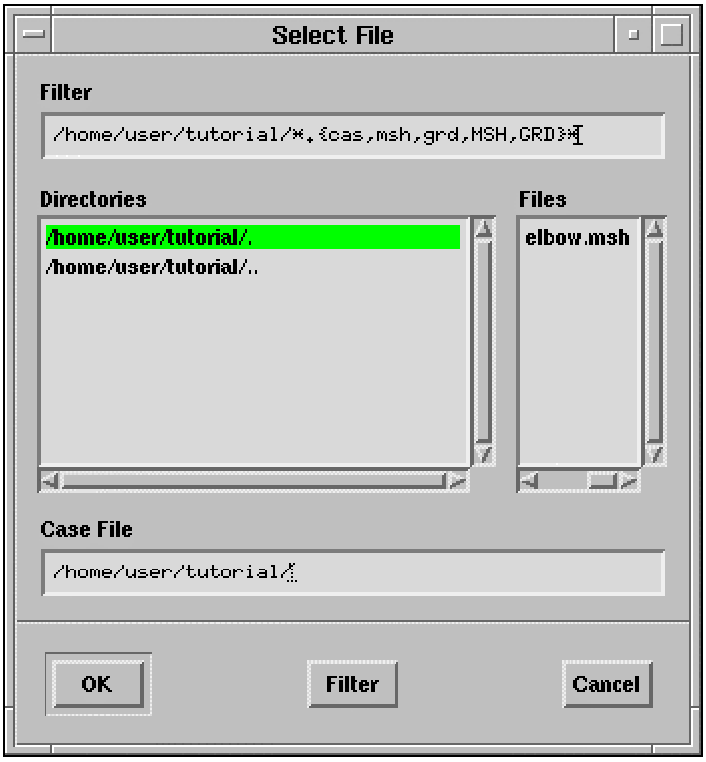
2. 启动 Fluent,选择 **2D** 求解器。

www.myCFD.cn

第 1 步：与网格相关的操作

1. 读取网格文件 elbow.msh。

File →Read →Case...



a) 在 **Files** 项中点击选中 **elbow.msh**，然后点击 **OK** 完成操作。

注意：

当 Fluent 读取网格文件的同时，信息会不断显示在反馈窗口内，报告网格转化的过程。当读取网格文件完毕，Fluent 的反馈窗口会显示一共读取了 **918** 个三角形的流体单元，以及许多带着不同分区标识符的边界面。

2. 网格检查。

Grid →Check

www.myCFD.cn

Fluent 的信息反馈窗口会显示如下信息：

```
Grid Check

 Domain Extents:
   x-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 6.400001e+01
   y-coordinate: min (m) = -4.538534e+00, max (m) = 6.400000e+01
 Volume statistics:
   minimum volume (m3): 2.782193e-01
   maximum volume (m3): 3.926232e+00
     total volume (m3): 1.682930e+03
 Face area statistics:
   minimum face area (m2): 8.015718e-01
   maximum face area (m2): 4.118252e+00
 Checking number of nodes per cell.
 Checking number of faces per cell.
 Checking thread pointers.
 Checking number of cells per face.
 Checking face cells.
 Checking bridge faces.
 Checking right-handed cells.
 Checking face handedness.
 Checking element type consistency.
 Checking boundary types:
 Checking face pairs.
 Checking periodic boundaries.
 Checking node count.
 Checking nosolve cell count.
 Checking nosolve face count.
 Checking face children.
 Checking cell children.
 Checking storage.
```


www.myCFD.cn

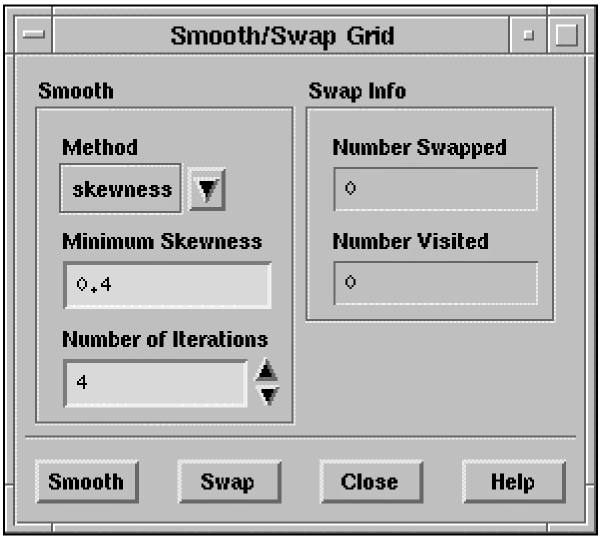
Done.

注意：

网格检查结束后，信息反馈窗口会以默认的 **SI** 单位制给出网格在 **X** 轴和 **Y** 轴上的最大和最小值，并将报告出网格的其它特性。网格检查还会报告出有关网格的任何错误。需要特别注意的是，确保最小体积不能是负值，否则 Fluent 无法进行计算。在 **SI** 单位制中，默认单位是 **m**，若想改变单位制，使用 **inches**，可以打开 **Scale Grid** 对话框。

3．平滑（或者交换）网格。

Grid →Smooth/Swap...



Fluent 读取网格文件后，平滑三角形或四边形网格是一个良好的习惯，那样能确保使用质量较好的网格进行计算。

a) 点击按钮 **Smooth** ，再点击按钮 **Swap** ，重复上述操作，直到 Fluent 报告没有需要交换的面为止。

若 Fluent 再无法通过交换改善网格质量，则没有平面可被交换了。

b) 点击 **Close** 关闭对话框。

www.myCFD.cn

4.　更改网格的长度单位

Grid　→Scale...

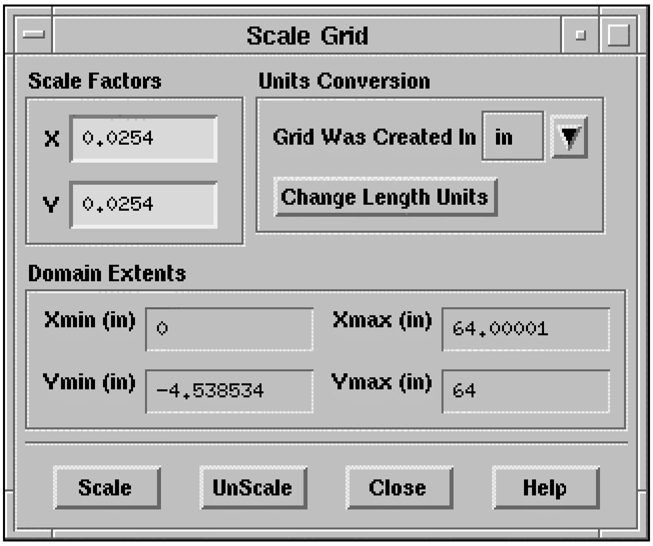
a) 在 **Units Conversion**（单位转换）项的 **Grid Was Created In**（网格长度单位）的右侧下拉列表中选择 **In**（代表选择了英寸）。

b) 点击 **Scale** 按钮，更改长度单位。

　在 **Domain Extents** 栏中采用了默认的 **SI** 单位制，长度单位为 **m**。

c) 点击按钮 **Change Length Units**，设定 **inches(英寸)**为此次计算采用的长度单位。

　　确保 **Xmax(in)**和 **Ymax(in)**中数值为 **64** 英尺。（如图 1.1）



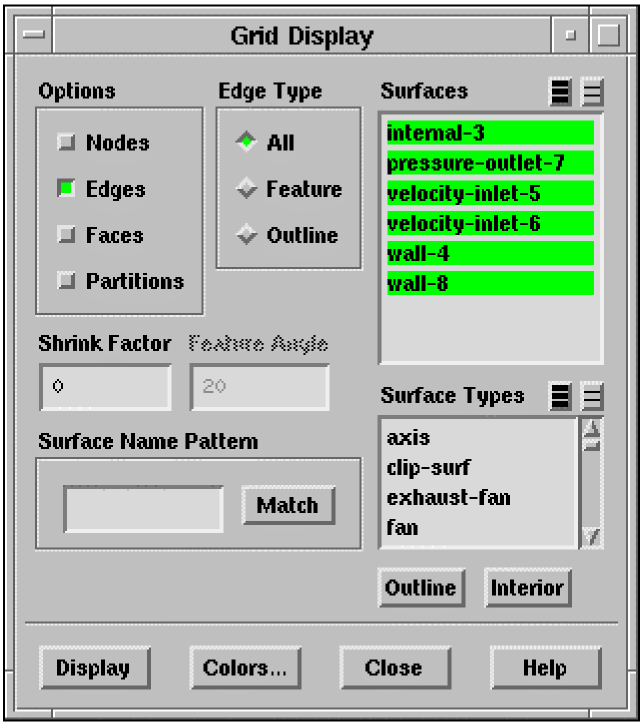
d) 计算采用的长度单位已被更改为 **inches(英寸)**，此时便能正确反映网格的几何尺寸。

注意：

　此算例的求解过程中，除了长度外，其它单位均采用 **SI** 制。一般来说，没有必要对其它单位进行改动。按照上述的操作，长度单位已经被确定为 inches。若用户想采用别的单位制作为长度单位，如 mm，可以在 **Define** 的下拉菜单中打开 **Set Units** 对话框，进行更改。

5．　显示网格。(图 1.2)

Display →Grid...



a)　确保在 **surfaces** 项中的所有表面都被选中，然后点击 **Display**。

www.myCFD.cn

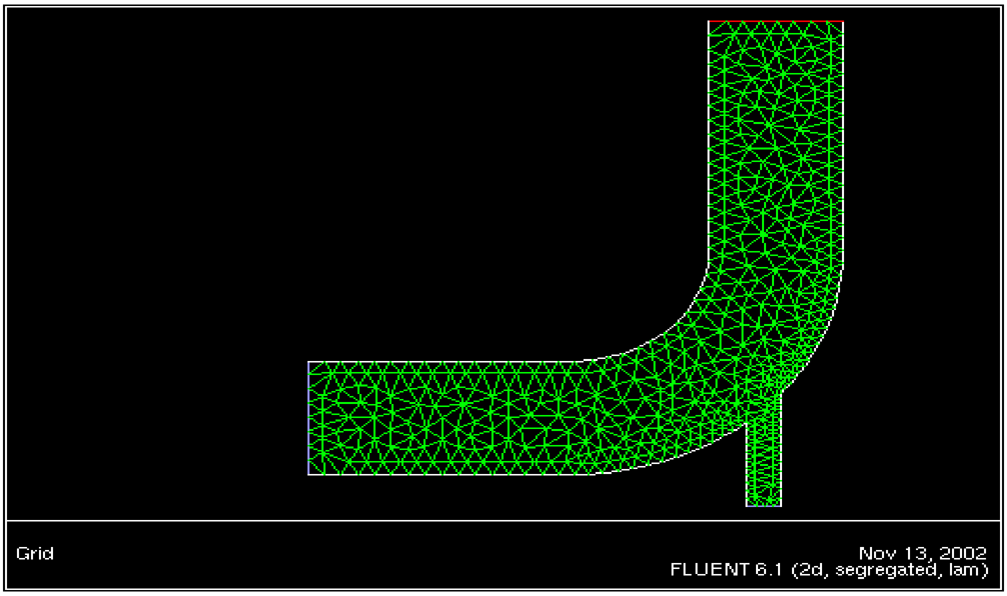


图 1.2　混合弯管出的三角形网格

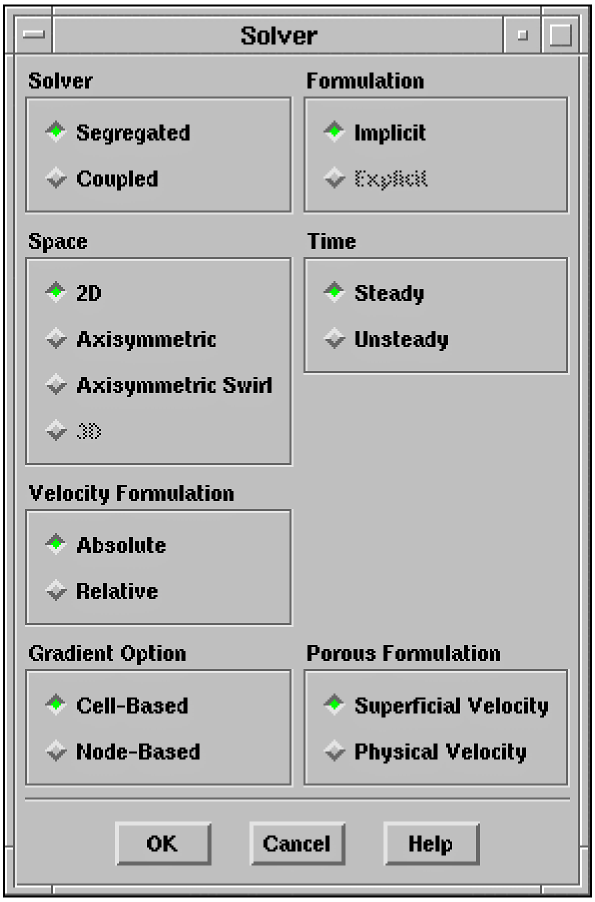
提示：

可以使用鼠标右键检查区号和相应的边界的对应关系。如果在图形窗口中的某一边界上点击鼠标右键，对应的区号、名字和类型等信息都会在 Fluent 的信息反馈窗口中显示出来。当有几个相同类型的区，而想很快区分它们的时候，这一功能尤其有用。

第 2 步：　建立求解模型

1. 保持求解器的默认设置不变。

Define →Models →Solver...



2. 设置标准 k- ϵ 湍流模型。

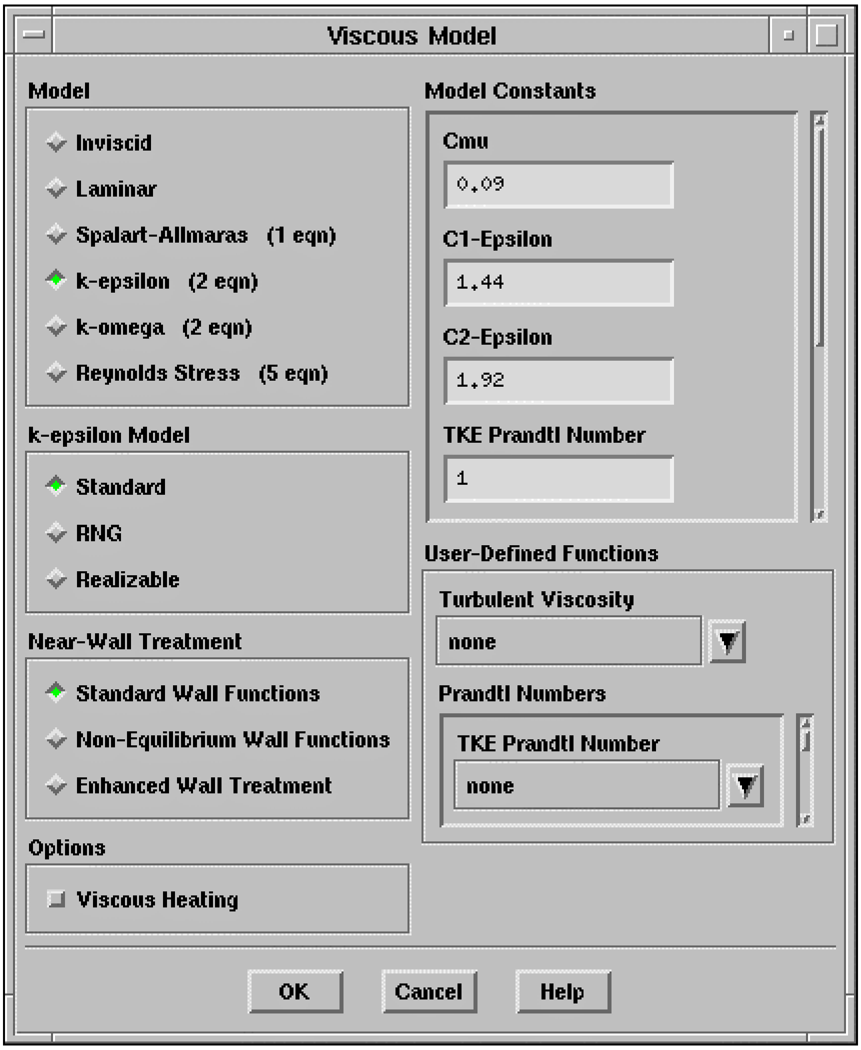
Define → Models → Viscous...

a) 在 **Model** 的列表中选择 **k-epsilon**。

选择 **k-epsilon**，则会自动打开 **Viscous Model** 对话框。

b) 保留默认的设置，点击 **OK**。

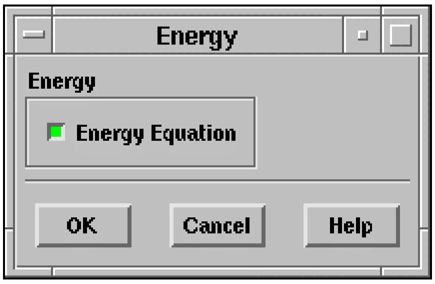
www.myCFD.cn



c) 选

择能量方程，激活传热机制。

Define →Models →Energy...

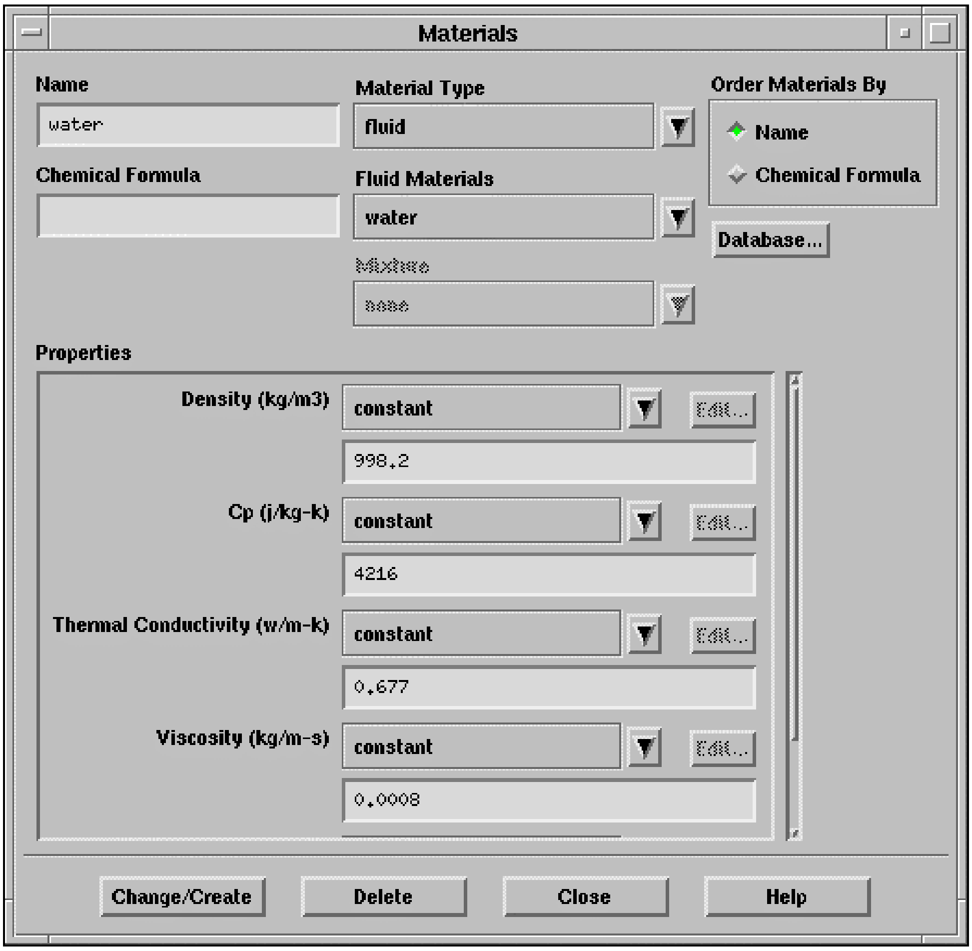


www.myCFD.cn

第 3 步：　设置流体的物理属性

1．创建新流体，取名为 **water**。

Define　→Materials..



a)　在 **Name** 栏中输入 **water.**

b)　在 **Properties** 下的各个输入栏中输入以下数值：

Property（物理属性）	Value（数值）
Density（密度）	1000kg/m^3
C_P(等压比热)	4216 J/kg-K

www.myCFD.cn

thermal conductivity（导热系数）	**0.677 W/m-K**
Viscosity（动力粘度）	**8×10^{-4} kg/m-s**

c) 点击按钮 **Change/Create**。

d) 在弹出的对话框中，Fluent 会询问是否覆盖 **air**，点击按钮 **No**。

此项操作将使名为 **water** 流体添加到材料选择列表中，此列表在未创建 **water** 时只有 **air** 一个选项。可以点击 **Fluid Materials** 的下拉菜单，查看是否已存在两种流体。

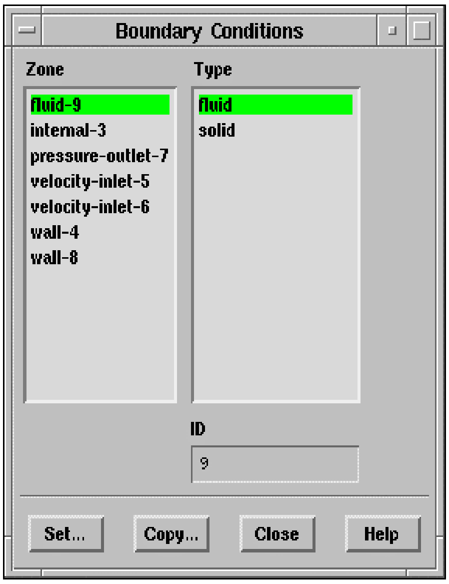
提示：

可以从材料库选择和拷贝 **water** 的属性(点击按钮 **Database...**便可进入材料库)。若属性与所要求的不一致，也可以在 **Properties** 栏内编辑属性，然后再点击 **Change/Create** 进行修改。(材料库本身不会受到影响）

e) 点击 **Close**，关闭 **Materials** 对话框。

第 4 步： 设置边界条件

Define →Boundary Conditions...



1．设置流体。

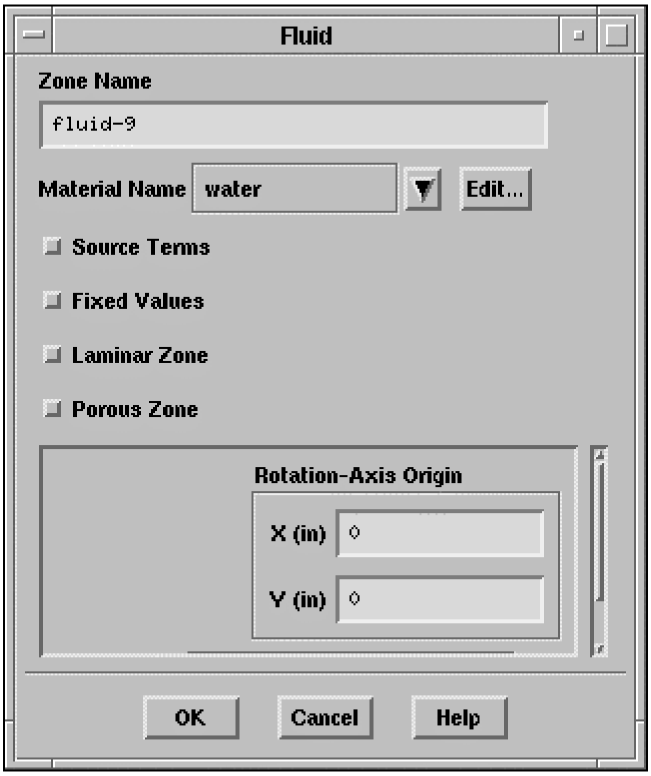
a) 在 **Zone** 项中选择 **fluid-9**。

www.myCFD.cn

在 **Type** 中会报告其属性为 **fluid**。

b) 点击 **Set...**打开 **Fluid** 设置对话框。

c) 在 **Material Name** 的下拉列表中选择 **water**，将指定流体即为前面所创建的流体 **water**。然后点击 **OK**.关闭对话框。



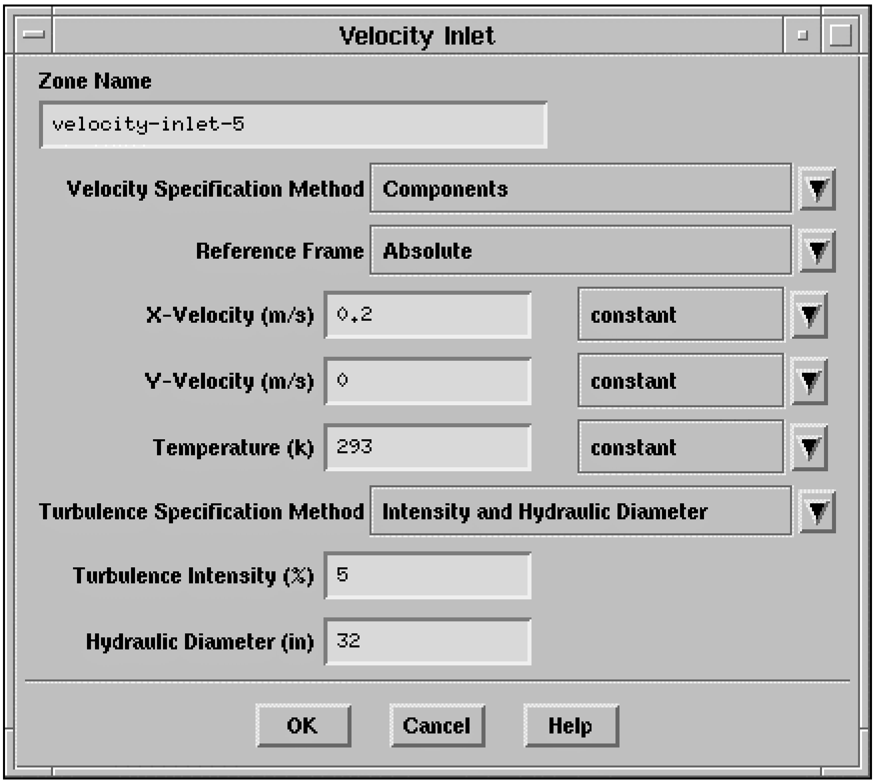
2. 设置主入口的边界条件。

a) 在 **Zone** 栏中选择 **velocity-inlet-5**，然后点击 **Set....**。

提示：

若无法确定主入口所对应的边界，可以在网格显示窗口中用鼠标右键点击网格的边界，则边界所对应的边界 ID 会显示在 Fluent 的信息反馈窗口中。在 **Boundary Conditions** 对话框内，所选中的边界会自动显示在 **Zone** 列表中。在二维数值模拟的情况下，先打开 **Grid Display** 对话框，取消流体和内部边界的显示（例如此算例中的 **fluid-9** 和 **internal-3**），再利用鼠标右键点击的方法，便能轻松将网格边界和其名字对应起来。

www.myCFD.cn



b) 在 **Velocity Specification Method** 项中选择 **Components**。

c) 在 **X-Velocity** 栏中输入 **0.2 m/s**。

d) 在 **Temperature** 栏中输入 **293 k**。

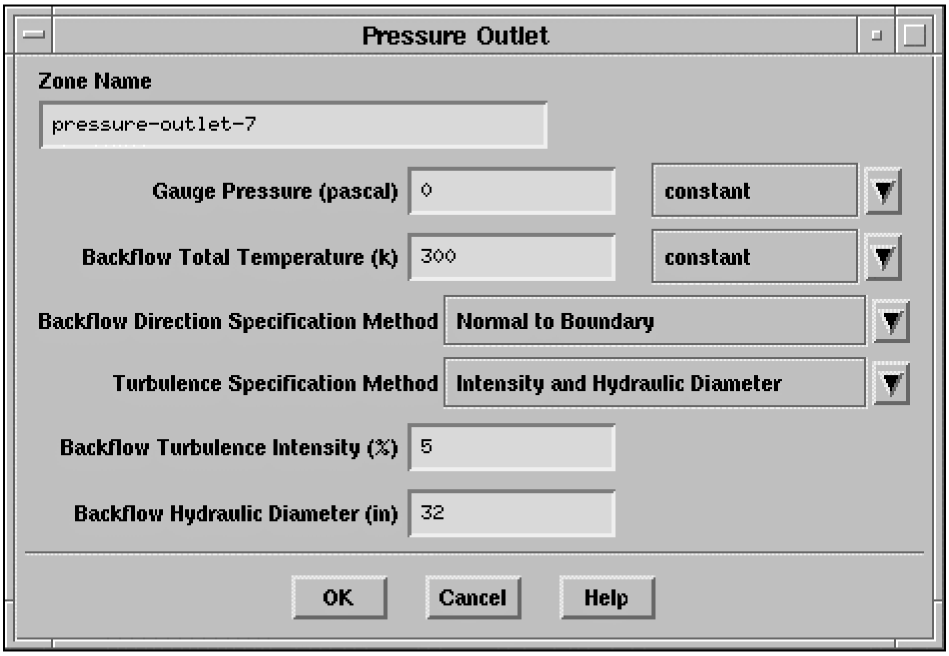
e) 在 **Turbulence Specification Method** 项中选择 **Intensity and Hydraulic Diameter**。

f) 在 **Turbulence Intensity** 栏中输入 5%，在 **Hydraulic Diameter** 中输入 **32in**。

3． 在 Zone 项中选择 velocity-inlet-6，按照下表重复上述操作。

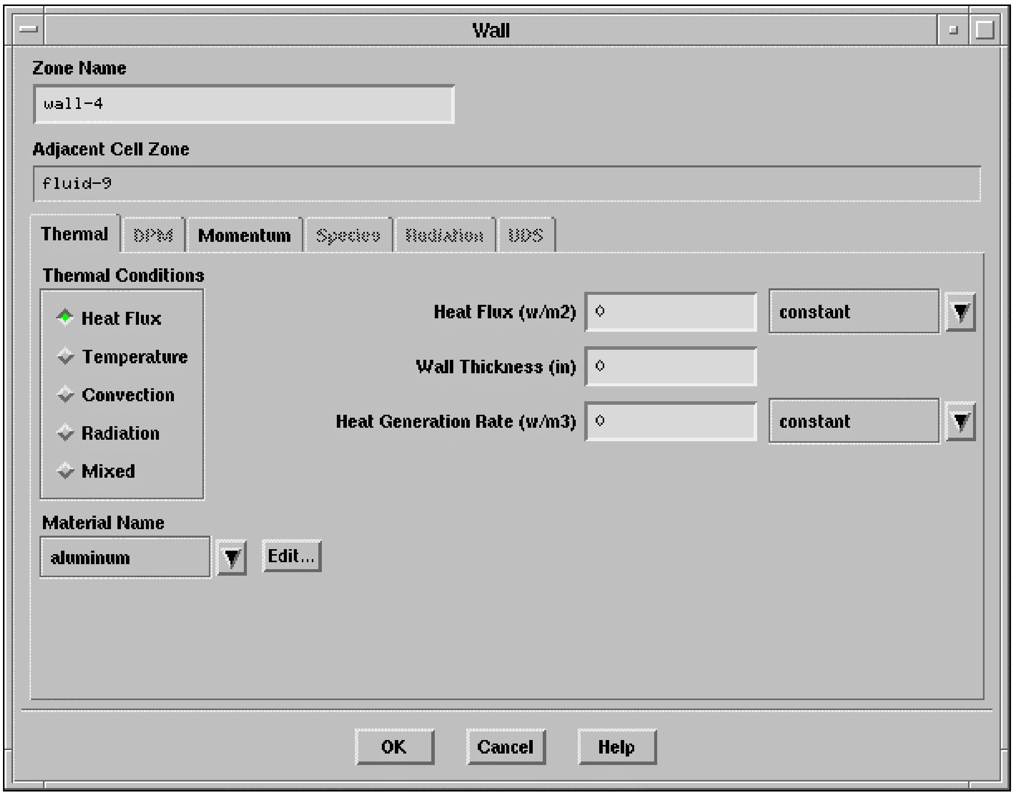
velocity specification method	**components**
y velocity	**1.0 m/s**
temperature	**313 K**
turbulence specification method	**intensity & hydraulic diameter**
turbulence intensity	**5%**
hydraulic diameter	**8 in**

4. 如下面的对话框所示，为 **pressure-outlet-7** 设置边界条件。



在流体穿过这个边界进入的主要流动区域的情况下，这些数据将会被应用。

5. 设置 **wall-4**，保持其 **Heat Flux** 栏中数值为 **0** 的默认设置。



6． 保持 **wall-8** 的默认设置。

注意：

若使用鼠标右键点击网格显示窗口中的网格（不包含内部单元），将会发现 **wall-8** 是弯管连接处后方那部分管道的弯曲表面。创建这个单独的表面，是为一些后继的操作服务的，它的目的和意义将会在此向导的后续部分讨论。

第 5 步： 求解

1．velocity-inlet-5 所设置的边界条件，初始化流场。

Solve →Initialize →Initialize...

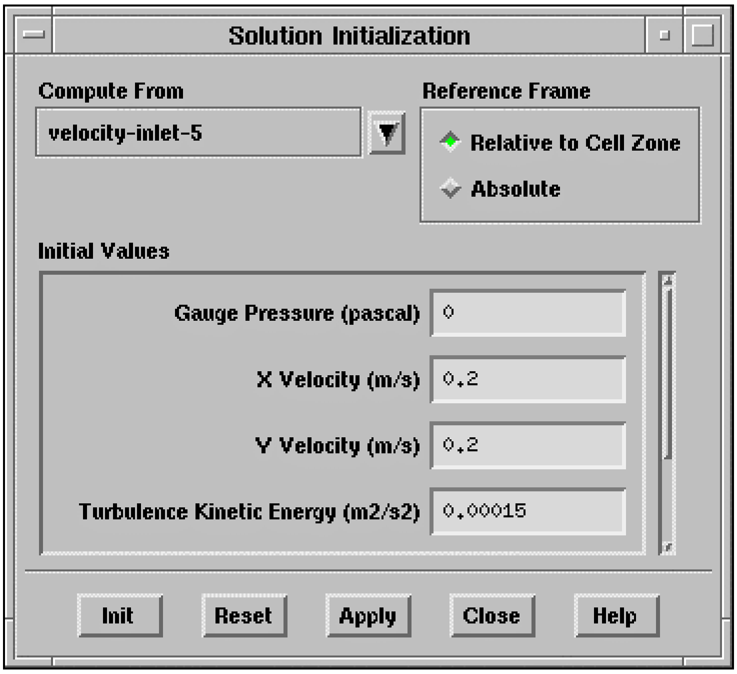
a) 在 **Compute From** 列表中选择 **velocity-inlet-5**。

b) 在 **Y Velocity value** 栏中输入 0. 2 **m/sec**。

注意：

速度的 X 方向分量初值只能作为对管道的水平部分流动的猜测值，若添加速度的 Y 方向分量初值，则能够更好的作为对整个弯管流动的初始猜测值。

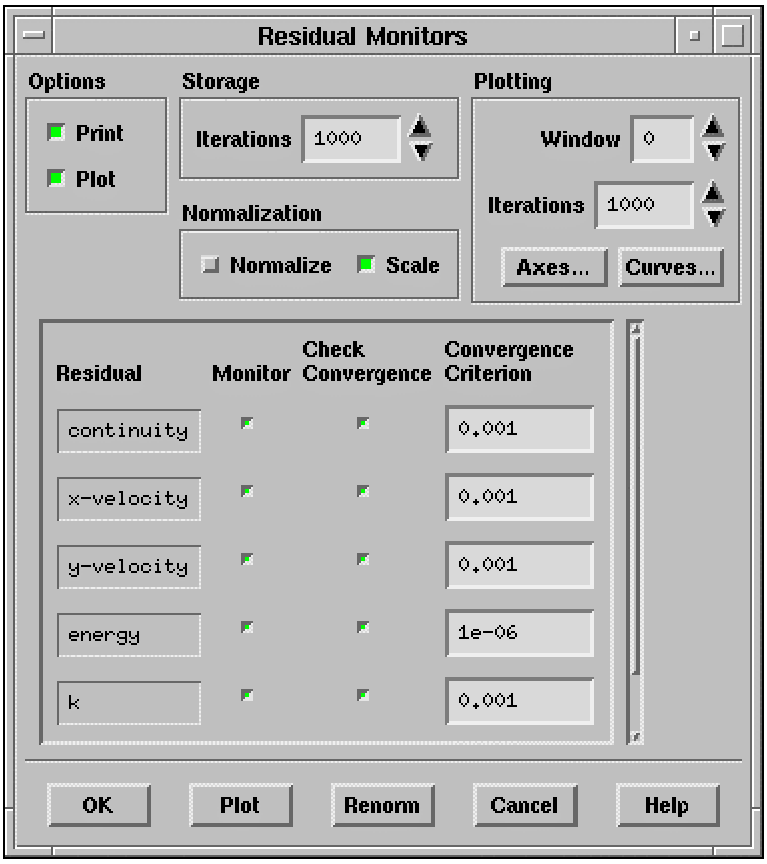
c) 点击 **Init**，再点击 **Close** 关闭初始化对话框。



2. 在计算时绘制残差曲线图

Solve →Monitors →Residual...

www.myCFD.cn



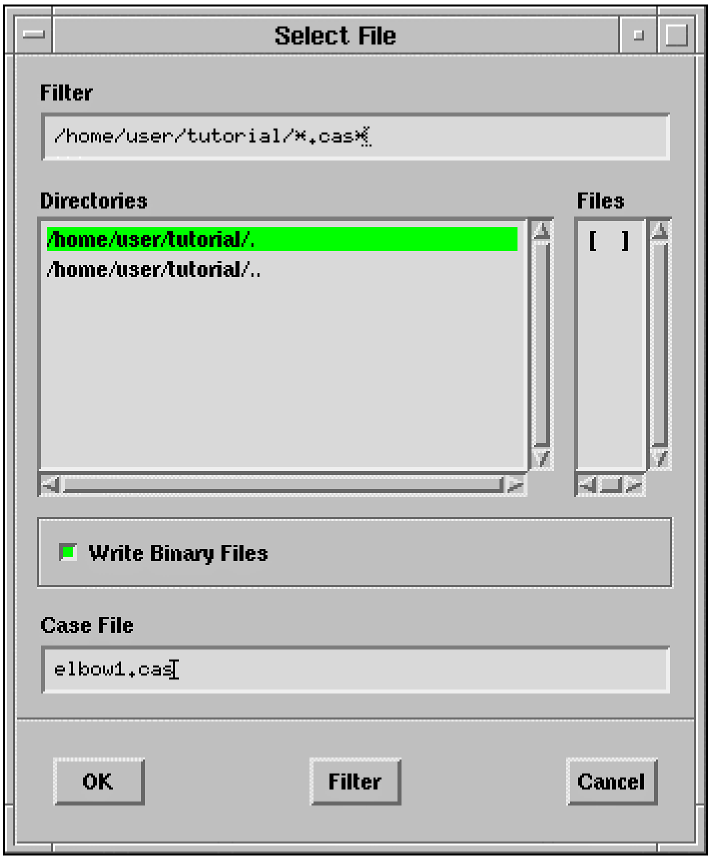
a) 在 **Options** 的选项中选择 **Plot**，然后点击 **OK** 关闭对话框。

注意：

在默认状态下，所有的物理量的变化都会被监侧，以便于判断求解是否收敛。当所有的物理量的收敛标准都满足时，计算就收敛了。默认的收敛标准是除能量残差以外的每一个残差都小于 10^{-3}，而能量残差要小于 10^{-6}。

3． 保存 case 文件（elbow1.cas）。

File →Write →Case...



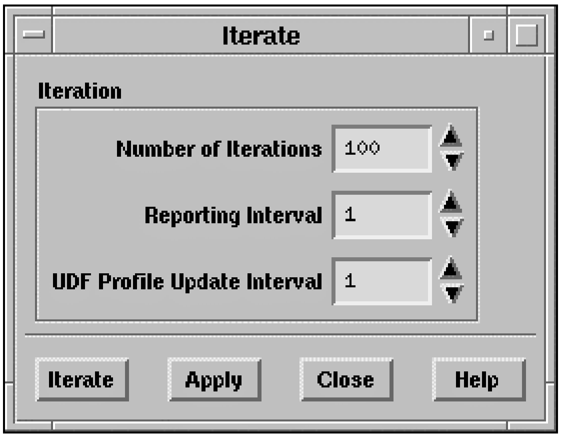
确保对话框中 **Write Binary Files** 处于激活状态（默认为激活状态），在此情况下，Fluent 会保存一个二进制文件。

4. 开始进行 **100** 次的迭代计算。

Solve →Iterate...

a) 在 **Number of Iterations** 栏中输入 **100**，然后点击 **Iterate** 开始迭代计算。

www.myCFD.cn



进行了大约 **60** 次迭代后，计算收敛。残差值的曲线图如图 1.3 所示。需要注意的是，对于不同的计算机其计算会得到不同的残差值，因此，用户的电脑所绘制的残差值曲线未必与图 1.3 的曲线完全一样。

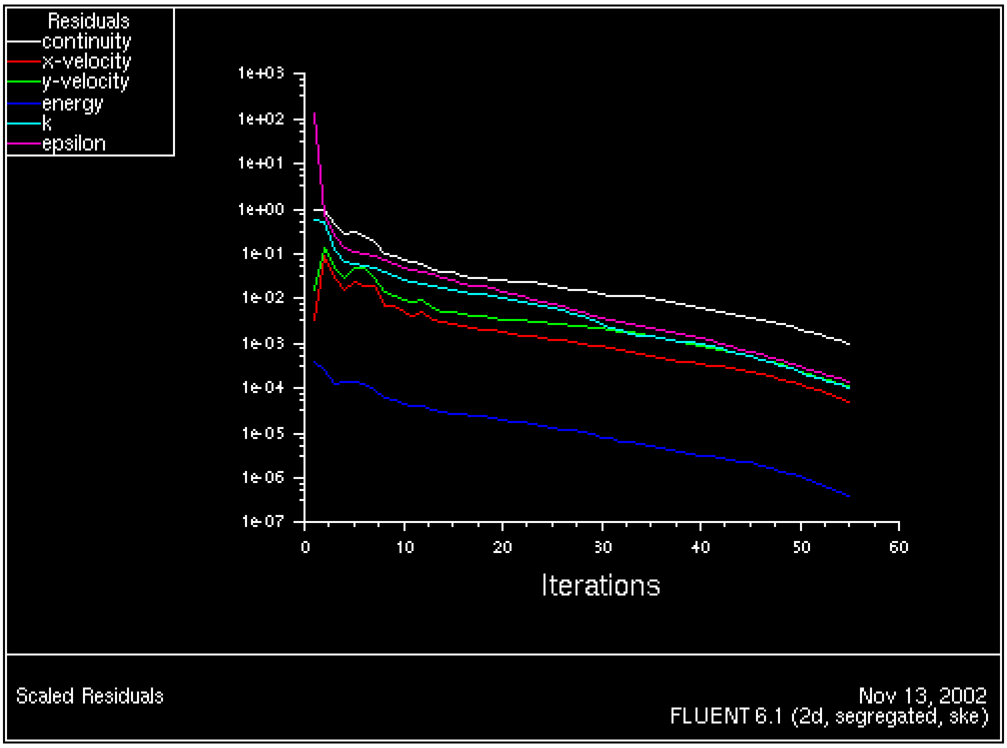


图 1.3　迭代计算 60 次后所得到的残差值曲线

www.myCFD.cn

5．查计算是否收敛

判断计算是否收敛，没有一个通用的方法。通过残差值判断的方法，对一些问题或许很有效，但在某些问题中往往会得出错误的结论。因此，正确的做法是，不仅要通过残差值，也要通过监测所有相关变量的完整数据，以及检查流入与流出的物质和能量是否守恒的方法来判断计算是否收敛。

以下列举了三种判断收敛的方法：

- 监测残差值

在迭代计算过程中，当各个物理变量的残差值都达到收敛标准时，计算就会发生收敛。Fluent 默认的收敛标准是：除了能量的残差值外，当所有变量的残差值都降到低于 10^{-3} 时，就认为计算收敛，而能量的残差值的收敛标准为低于 10^{-6}。

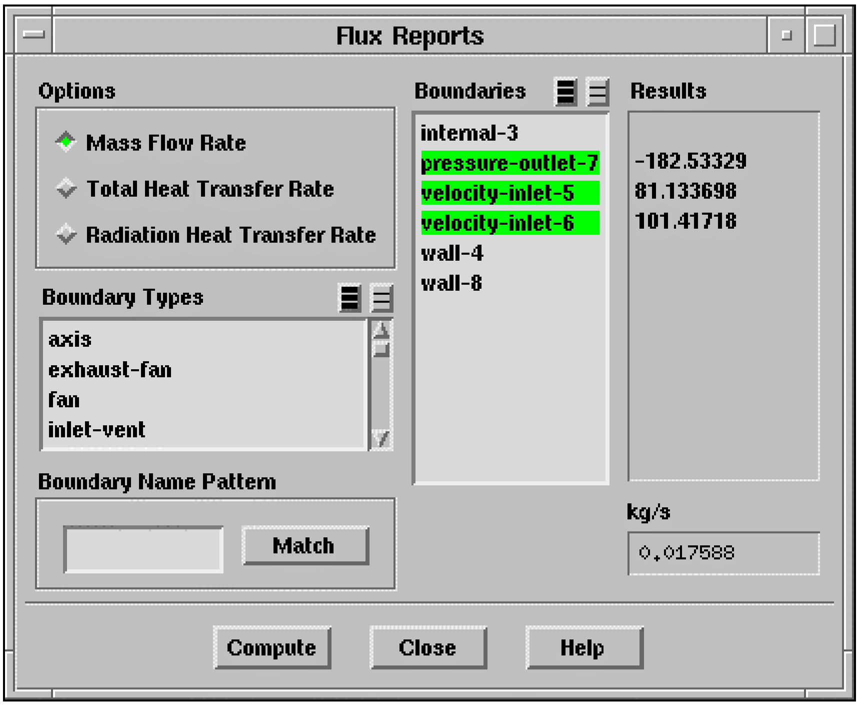
- 计算结果不再随着迭代的进行发生变化

有时候，因为收敛标准设置得不合适，物理量的残差值在迭代计算的过程中始终无法满足收敛标准。然而，通过在迭代过程中监测某些代表性的流动变量，可能其值已经不再随着迭代的进行发生变化。此时也可以认为计算收敛。

- 整个系统的质量，动量，能量都守恒。

在 **Flux Reports** 对话框中检查流入和流出整个系统的质量，动量，能量是否守恒。守恒，则计算收敛。不平衡误差少于 **0.1**%，也可以认为计算是收敛的。

Report →Fluxes



6．存 **data** 文件（**elbow1.dat**）。

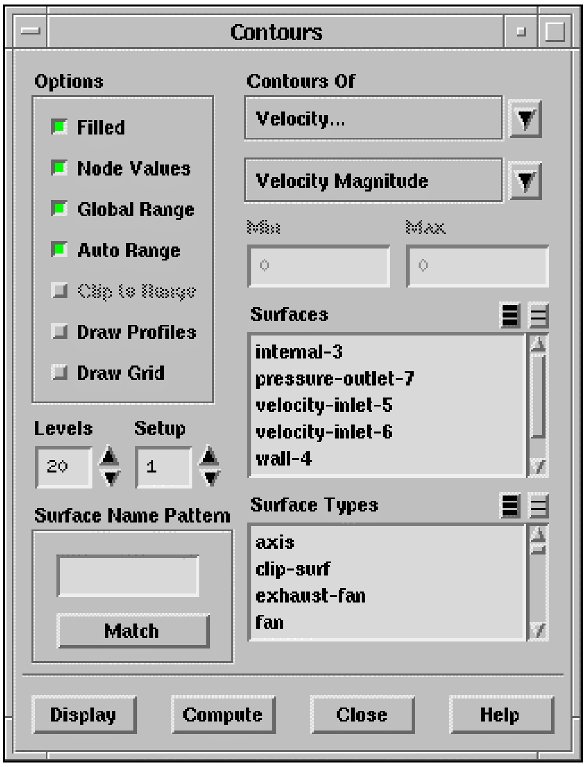
保存文件时，使用与前面保存的 **case** 文件相同的前缀（**elbow1**）。注意此后还会再次保存具有相同前缀的 **data** 文件和 **case** 文件。

File →Write →Data...

第 6 步： 显示初步计算结果

1. 利用不同的颜色显示速度分布。（图 1.4）

Display →Contours...



a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Velocity...**和 **Velocity Magnitude**。

b) 在 **Options** 项中选择 **Filled**。

c) 点击 **Display**。

注意：

用鼠标右键点击区域内一点，将在信息反馈窗口内会显示此点的值。

www.myCFD.cn

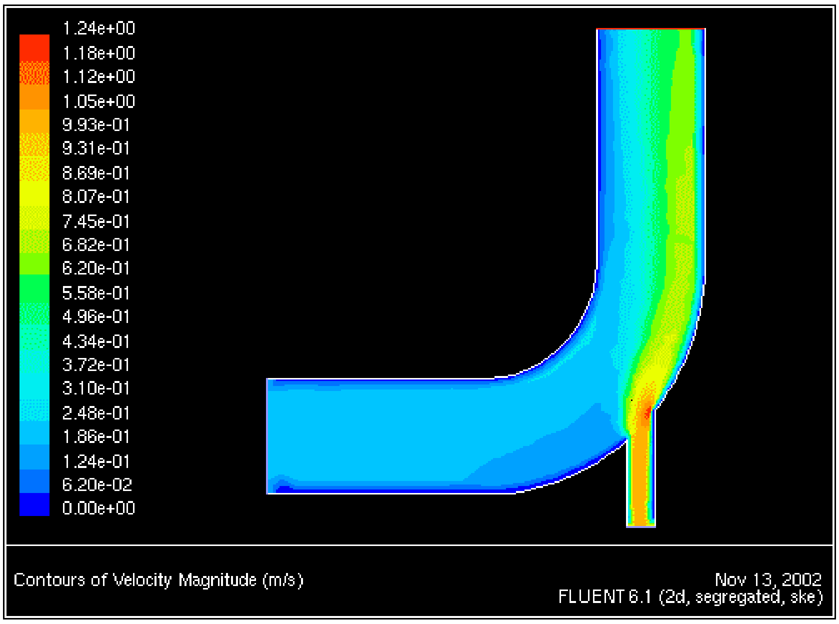
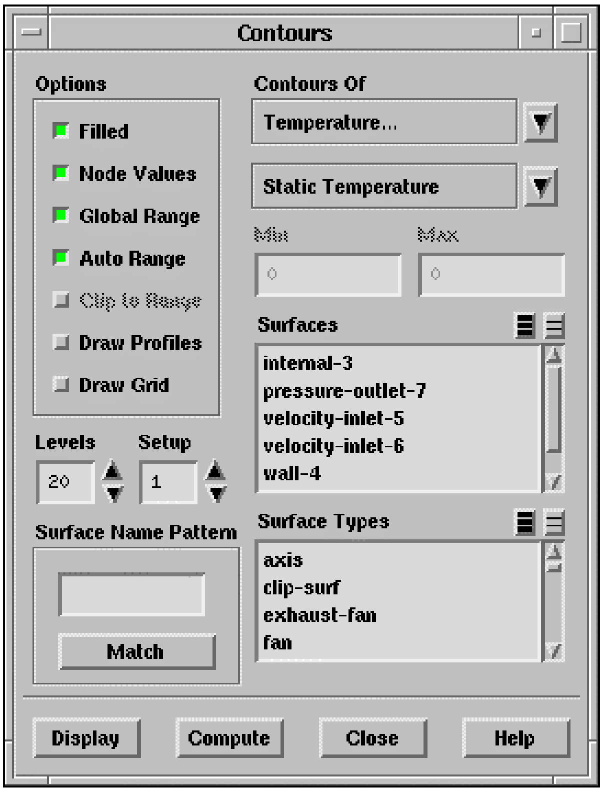


图 1.4　初次计算后所得出的速度分布图

2. 显示温度场。（图 1.5）

www.myCFD.cn



a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Temperature...**和 **Static Temperature**。

b) 点击 **Display**。

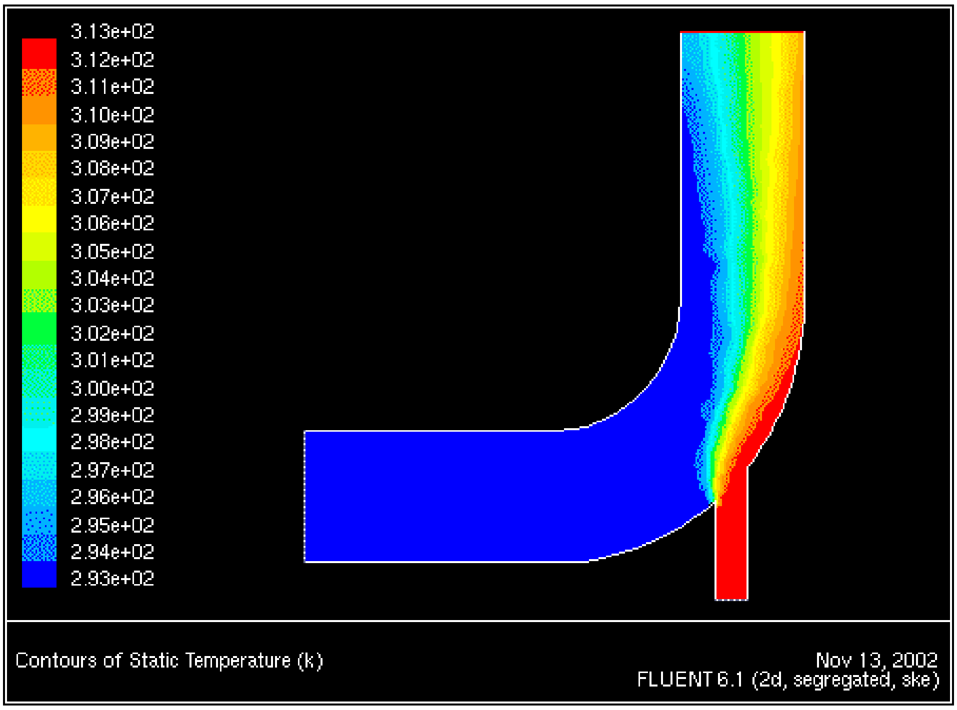


图 1.5　初次计算后得出的温度分布图

3.　显示速度矢量场。（图 1.6）

Display　→Vectors...

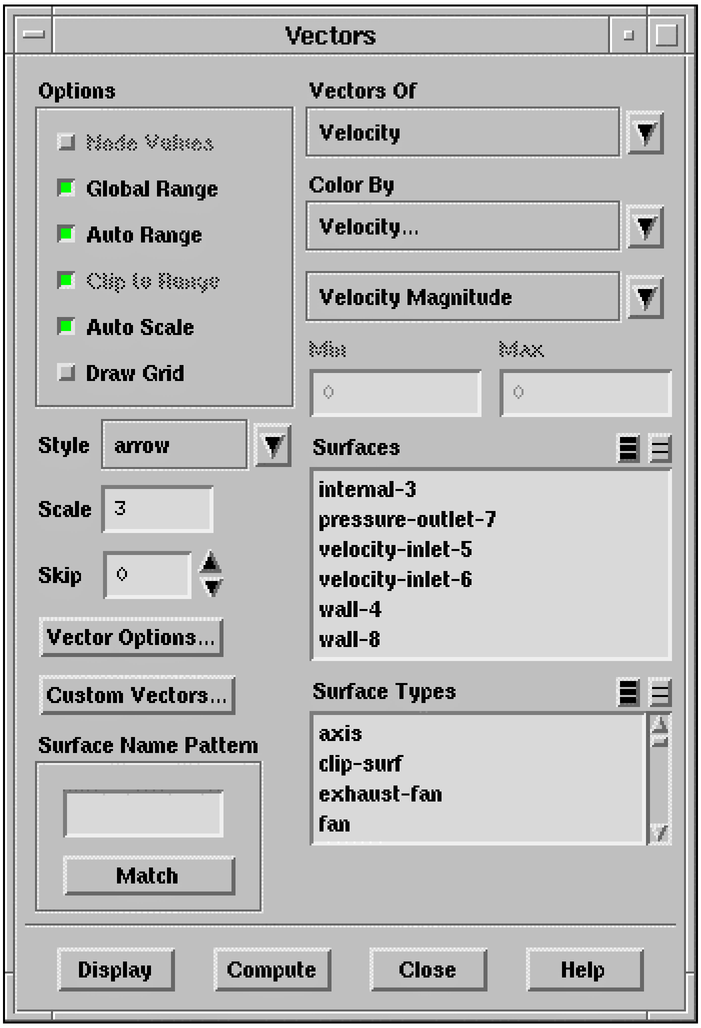
a)　点击 **Display**，可以显示出速度矢量场。

注意：

在 **Options** 项中的 **Auto Scale** 在默认情况下是选中的。但自动选定长度不一定是合适的，往往生成的矢量尺寸在图中不是过大就是过小，可以进行调整。

b)　在 **Scale** 栏中输入 **3**，改变矢量的尺寸。

www.myCFD.cn



c) 再次显示速度矢量场。

www.myCFD.cn

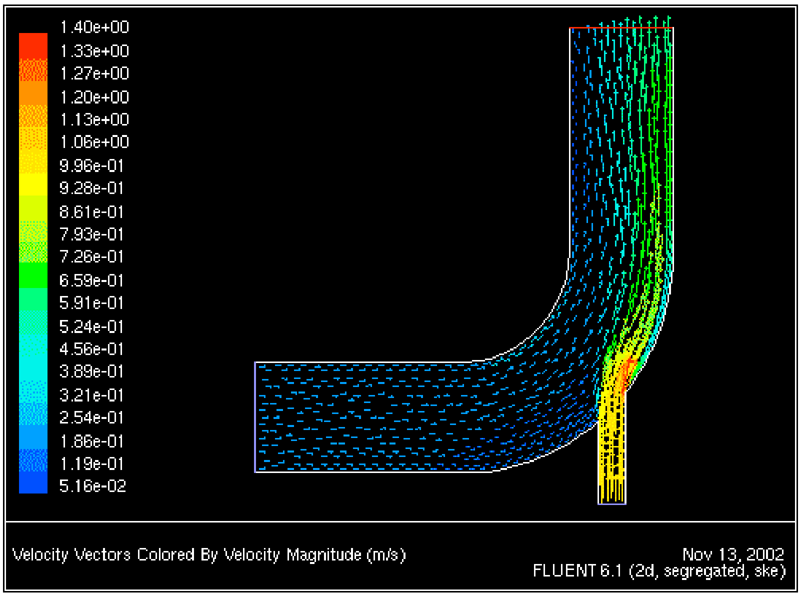
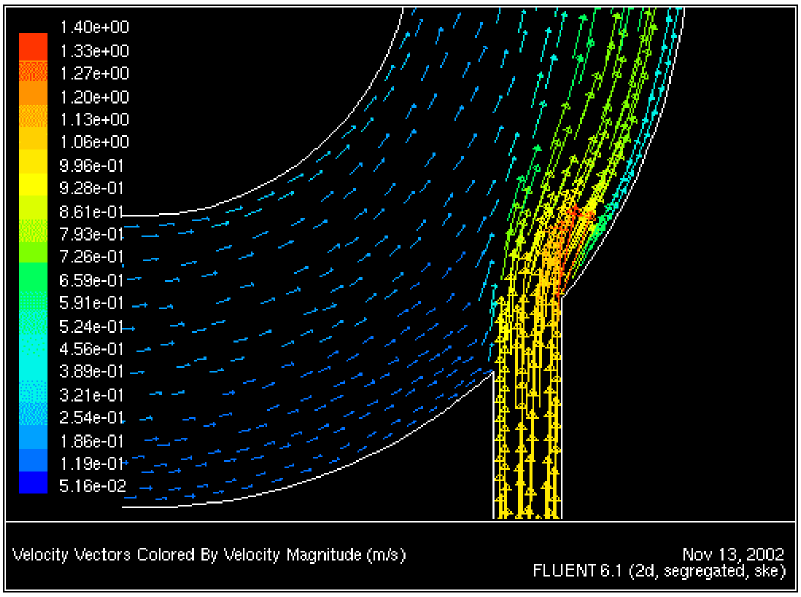


图 1.6　更改后的速度矢量分布图

d) 使用鼠标中键可以放大图像。具体方法是：按住鼠标中键然后拽动鼠标在屏幕中向右移动，再向上或向下移动形成一个矩形，用此矩形所包围图像要被放大的部分。放开鼠标中键，图像显示窗口就会放大被矩形包围的部分。（图 1.7）



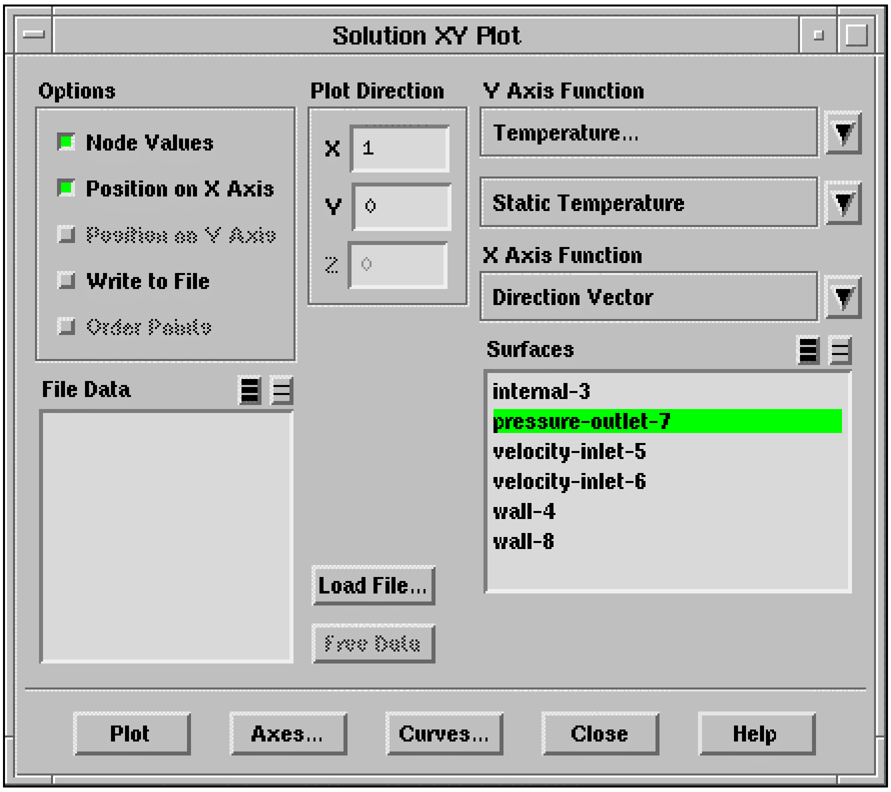
www.myCFD.cn

图 1.7　速度矢量分布图被放大的部分

e)　使用鼠标中键也可以缩小还原图像。具体方法是：按住鼠标中键然后拽动鼠标在屏幕中向左移动形成一个矩形。放开鼠标中键，图像便可以被缩小还原。如果被缩小还原的图像不在图像显示窗口的中心，可以按住鼠标左键在屏幕上拖动图像。

4.　创建出流口截面的温度 **XY** 曲线图。（图 1.8）

Plot　→XY Plot...



a)　在 **Y Axis Function** 的下拉列表中选择 **Temperature...**和 **Static Temperature**。

b)　在 **Surfaces** 列表中选择 **pressure-outlet-7**。

c)　点击 **Plot**。

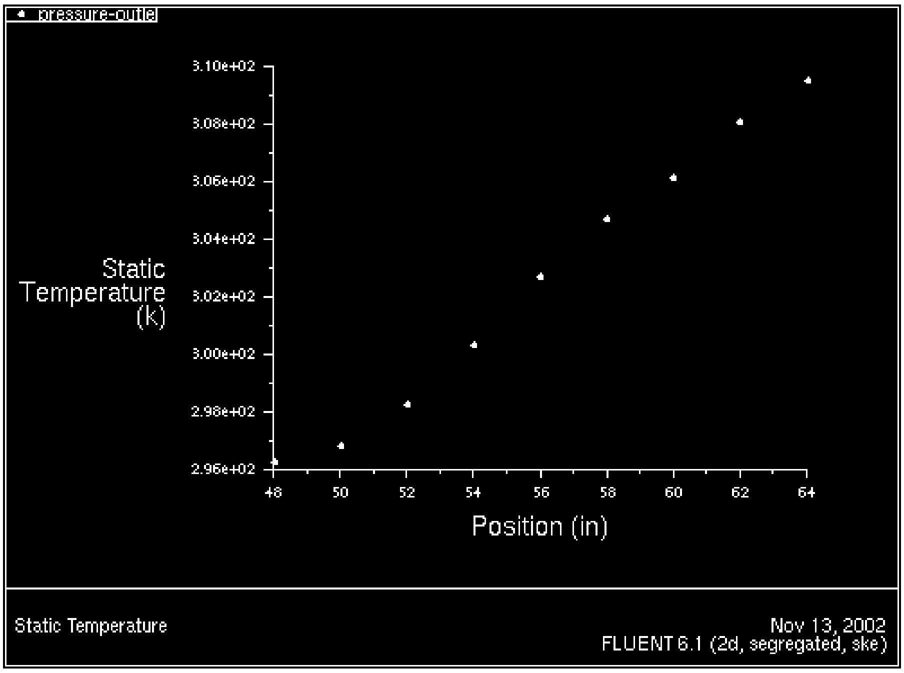
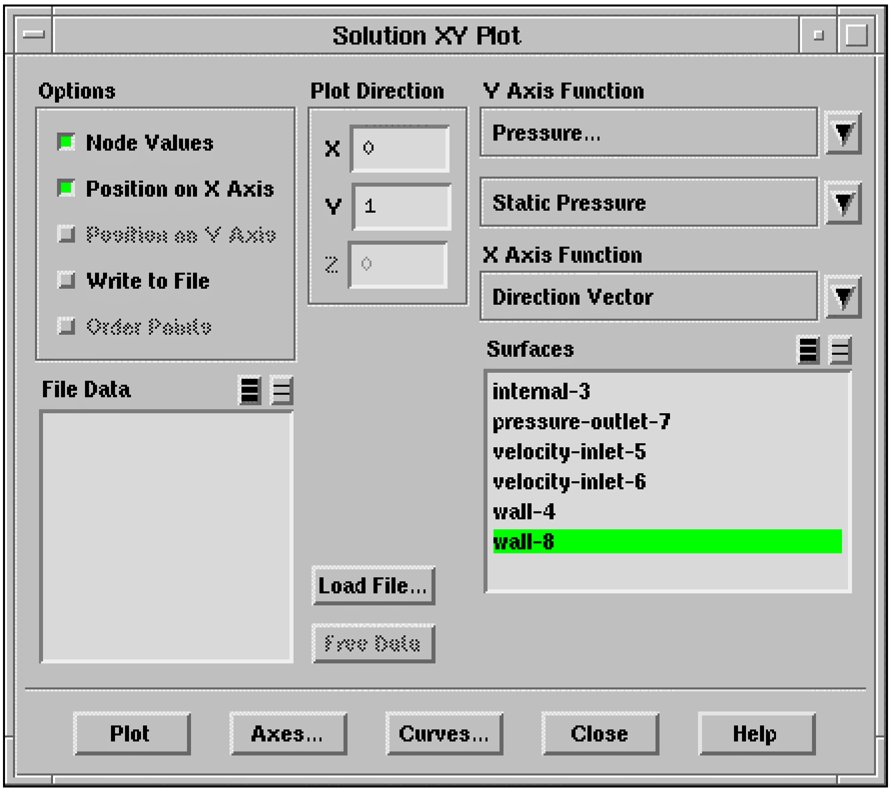


图 1.8 出口处的温度分布图

5. 制作大管道外壁面 **wall-8** 的压力分布图。（图 1.9）

www.myCFD.cn



a) 在 **Y Axis Function** 的下拉列表中选择 **Pressure...**和 **Static Pressure**。

b) 在 **Surfaces** 列表中不选择 **pressure-outlet-7**，再选择 **wall-8**。

c) 把 **Plot Direction for X** 栏中的数值改为 **0**，把 **Plot Direction for Y** 栏中的数值改为 **1**。

当 **Plot Direction**（绘图方向）栏显示的矢量为（0，1）时，Fluent 所绘制的 **wall-8** 面上各小单元的压力分布图的横轴为 **Y** 函数的数据。

d) 点击 **Plot**。

www.myCFD.cn

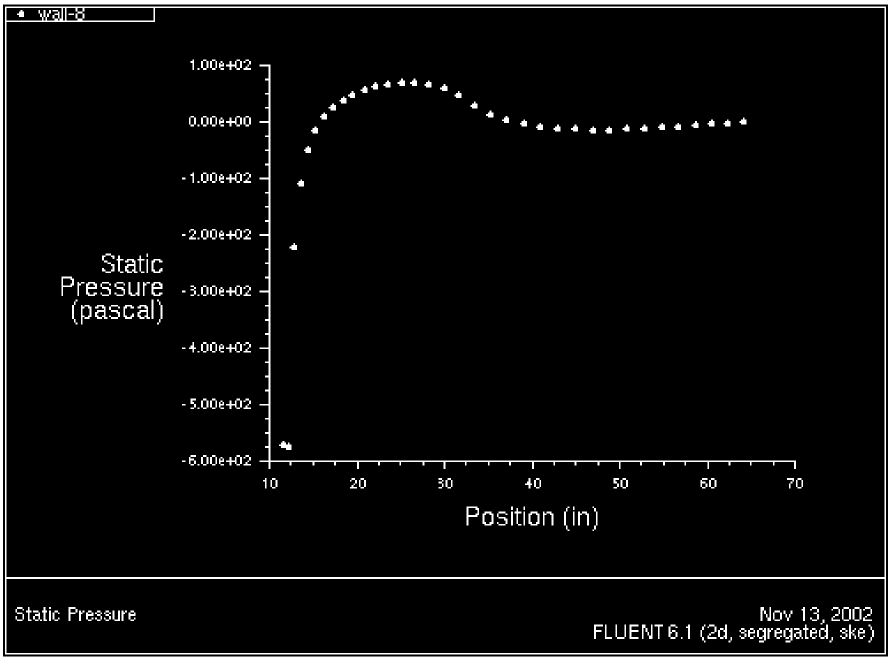
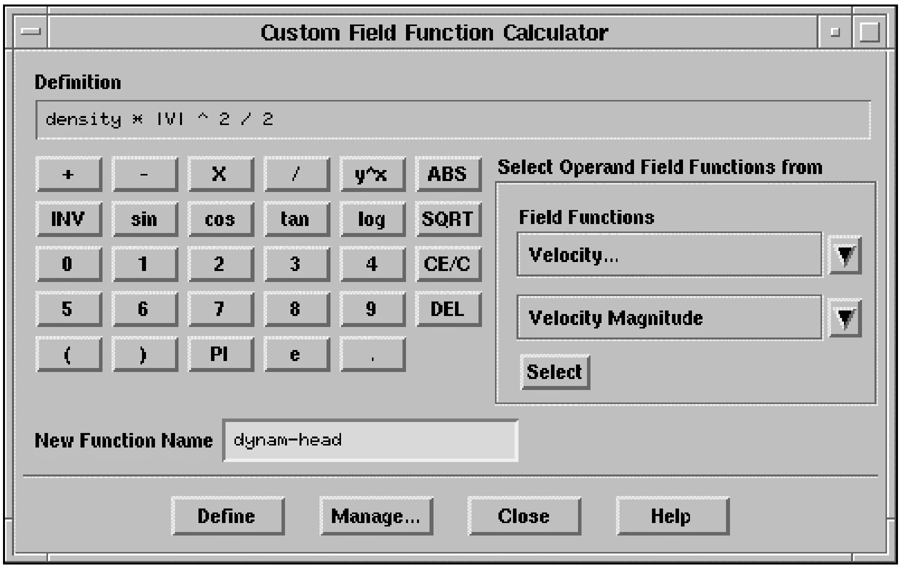


图 1.9　沿着大管道外壁面的压力分布图

6. 　自定义动压水头的函数 $\rho|V|^2/2$。

Define →**Custom Field Functions...**

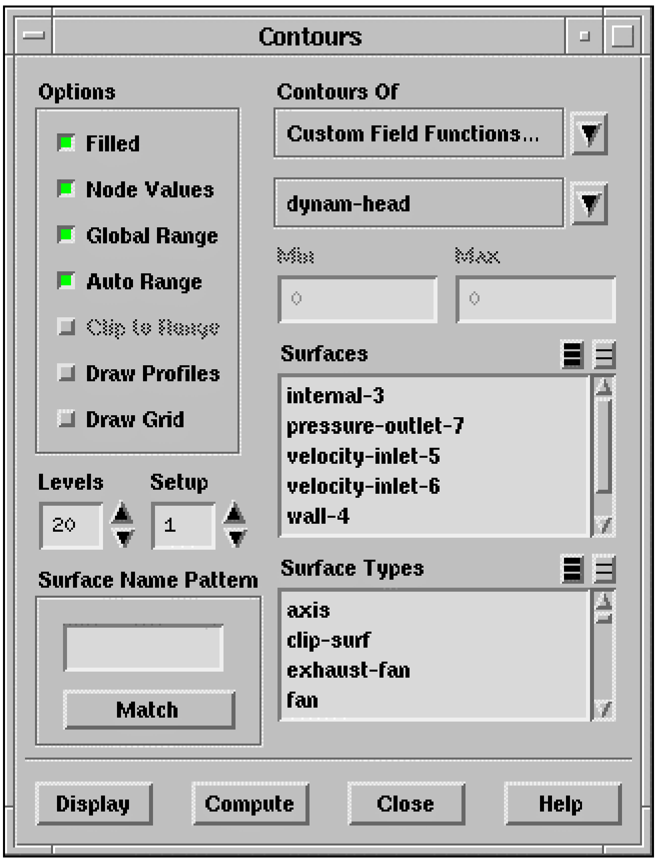


www.myCFD.cn

a) 在 **Field Functions** 的下拉列表中选择 **Density**，再点击 **Select**。
b) 在对话框的小键盘上点击乘号键×.
c) 在 **Field Functions** 的下拉列表中选择 **Velocity** 和 **Velocity Magnitude**，再点击 **Select**。
d) 在对话框的小键盘上点击键 **y ^ x**，再为其赋值点击键 **2**。
e) 在对话框的小键盘上点击除法键/，再点击键 **2**。
f) 在 **New Function Name** 栏中输入字母：dynam-head。
g) 点击 **Define**，再点击 **Close** 关闭对话框。

7. 显示自定义函数（动压水头）的数值分布。（图 1.10）

Display →Contours...



www.myCFD.cn

a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Custom Field Functions...**。

此时，自定义的函数 **dynam-head** 将会出现在 **Custom Field Functions...**下方的列表中。

b) 点击 **Display**，再点击 **Close** 关闭对话框。

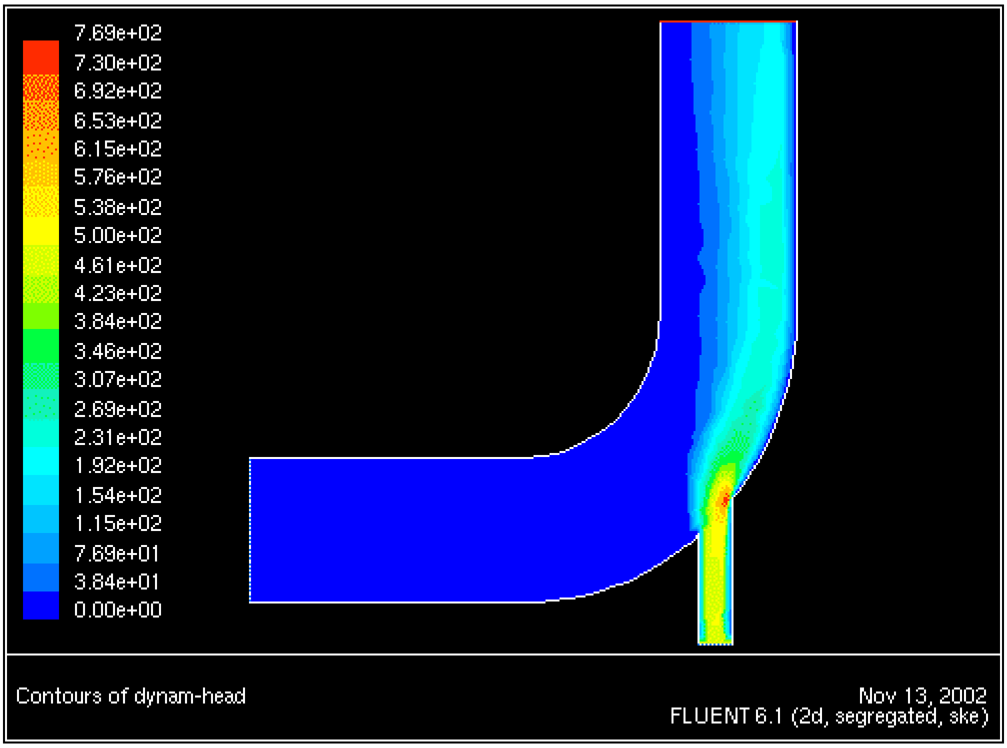


图 1.10　自定义函数的数值（动压水头）分布图

注意：

在上一步显示速度矢量分布的操作中，若图像显示窗口被放大了，则在显示自定义函数的数值分布的图像之前，需要还原被放大的图像显示窗口。

第 7 步：使用二阶离散化方法重新计算

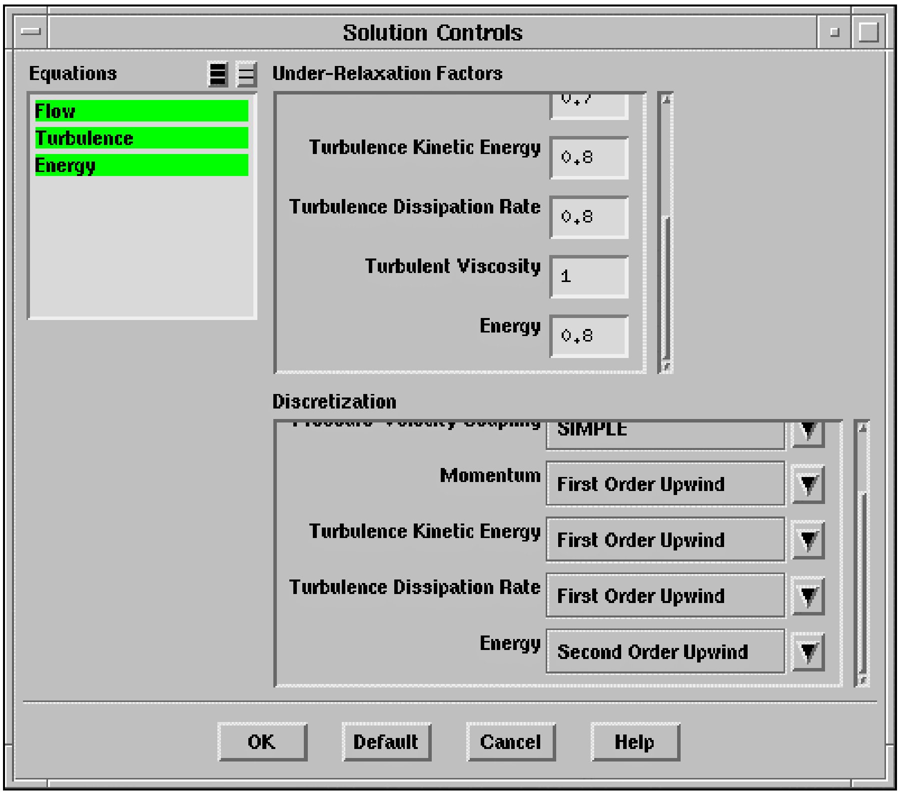
以上关于弯管问题的求解计算使用了一阶离散化方法。从所得的温度和速

www.myCFD.cn

度的分布图像可以看出，这种计算方法的收敛性并不理想，流体混合的情况也无法准确预测。为了改善求解精度，可将能量方程改为二阶离散化方法重新计算，同时，为了保证计算收敛，将降低松弛系数。

1. 设置能量方程的二阶离散，降低松弛系数。

Solve →Controls →Solution...



a) 在 **Discretization** 项中选择 **Second Order Upwind for Energy**。

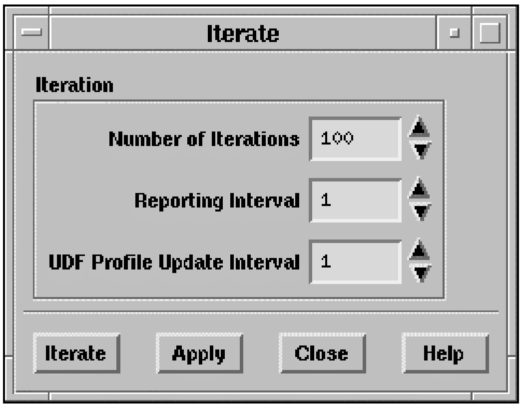
b) 在 **Under-Relaxation Factors** 栏中，将 **Energy** 项设置为 **0.8**。

注意：

将 **Discretization** 和 **Under-Relaxation Factors** 的下拉列表拉到底部，才能出现 **Energy** 选项。

2. 继续进行 **100** 次迭代计算。

Solve →Iterate...



继续进行了大约 35 次迭代计算后，计算收敛。

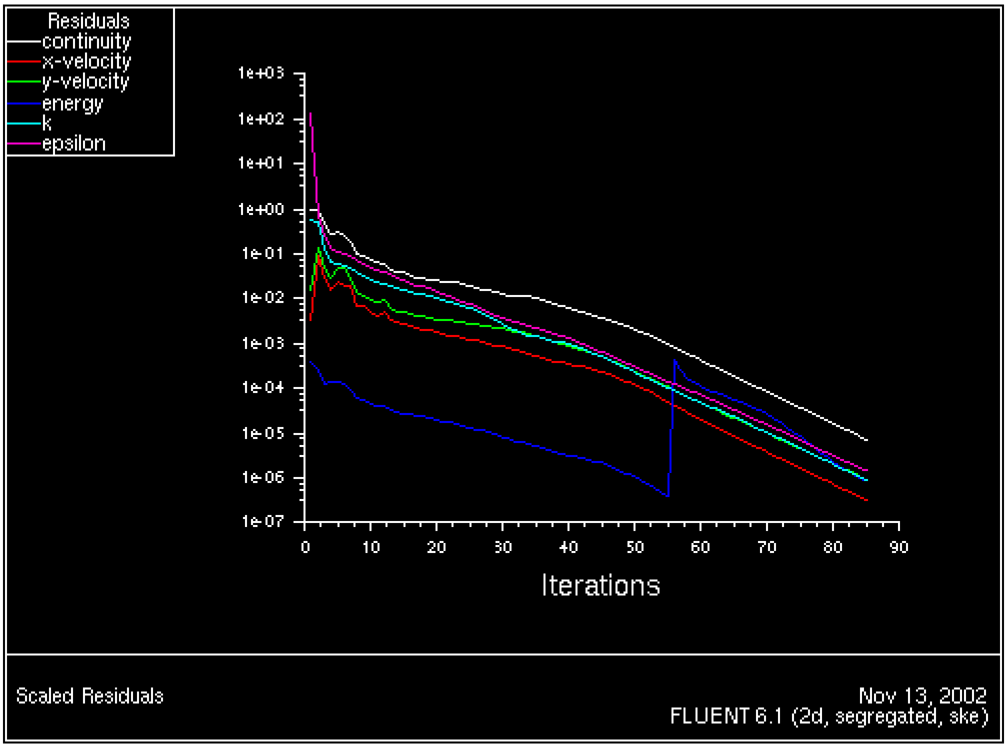


图 1.11　使用二阶离散化方法计算所得到的残差值曲线

www.myCFD.cn

注意：

在改变了求解的控制系数时，曲线必然有一个跳跃。

3. 将这一设置和求解结果保存为 **case** 和 **data** 文件(elbow2.cas and elbow2.dat)。

File →Write →Case & Data...

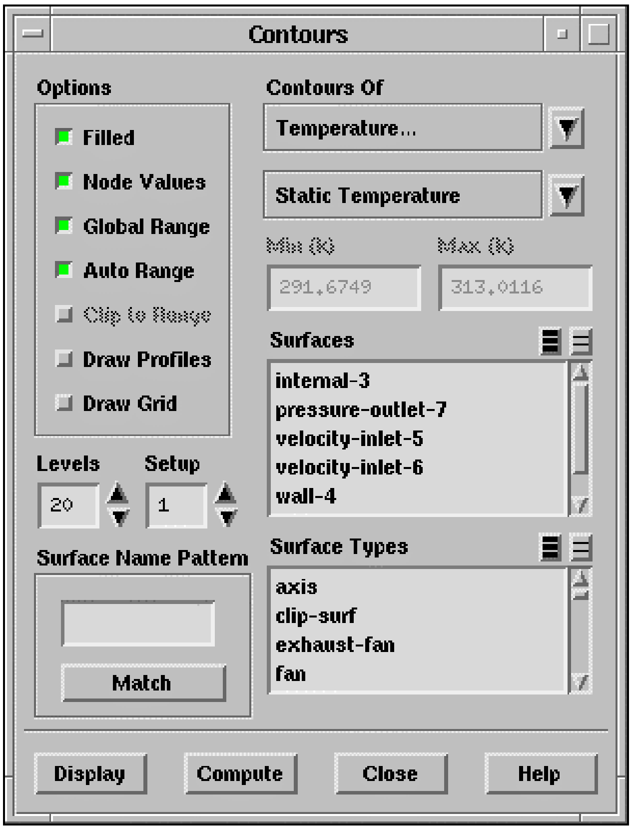
a) 在 **Case/Data** 栏内输入 elbow2。

b) 点击 **OK** 关闭对话框。

文件 **elbow2.cas** 和 **elbow2.dat** 将会被保存到用户指定的目录中。

4. 查看二阶离散化方法重新计算所得的温度分布图像。（图 1.12）

Display →Contours...



www.myCFD.cn

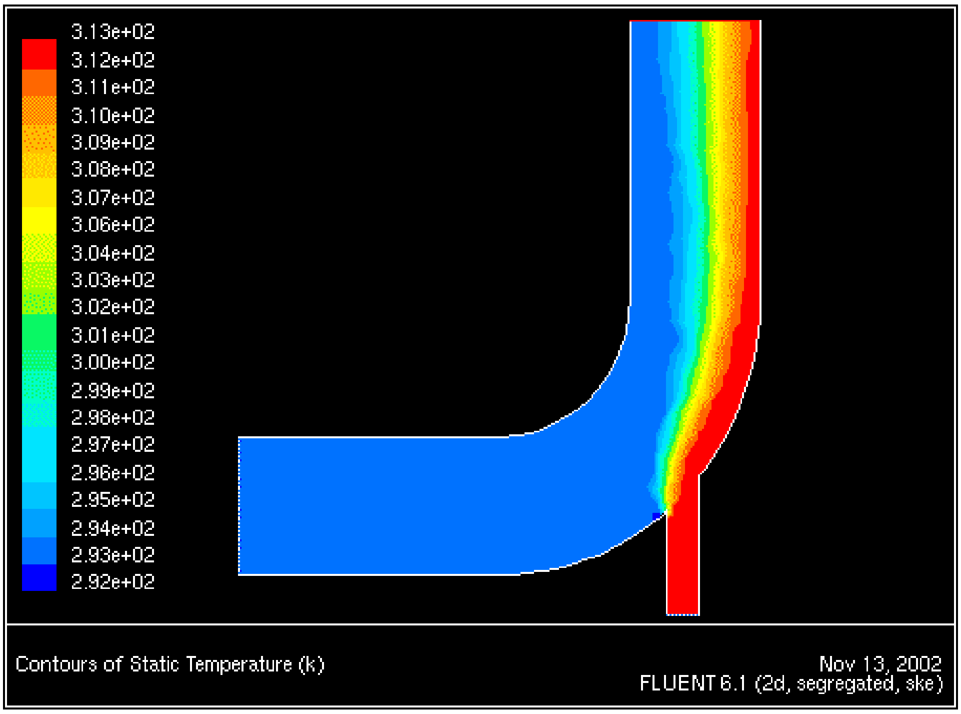


图 1.12　二阶离散化方法重新计算所得到的温度分布图

将此图与前面的温度分布图比较，可以看出弯管后部的热量扩散程度大大降低，温度分布得到了较好的改善。

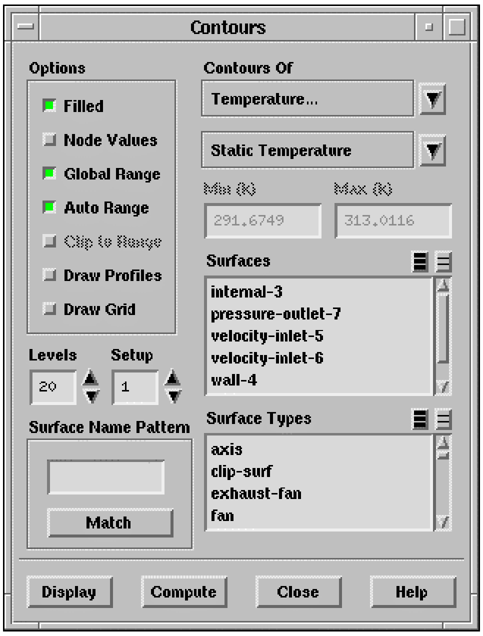
第 8 步：　自适应网格修改功能

弯管内流动与热交换计算还可以进一步得到改善，这可以通过进一步改进网格使其适合于更精确的流动计算。现在，可以在目前求解的基础上，以温度梯度为基点来改善网格。在改动网格之前，应先确定温度梯度的范围。一旦网格得到改进，即可继续计算。

1.　显示基于单元（**on a cell-by-cell basis**）的温度显示。（图 1.13）

Display　→Contours...

www.myCFD.cn



a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Contours Of** 和 **Static Temperature**。

b) 在 **Options** 项中不选择 **Node Values**，再点击 **Display**。

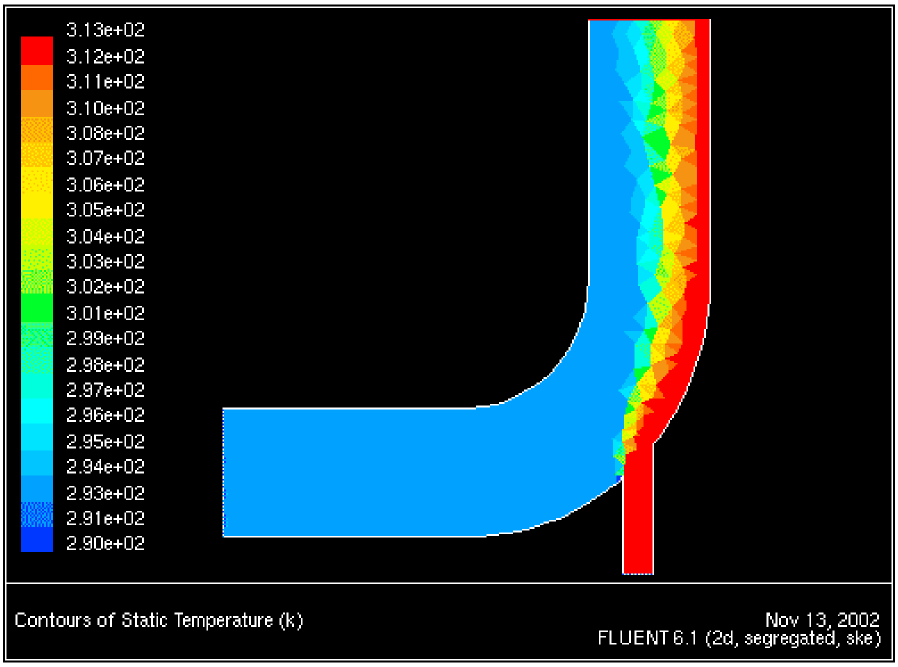


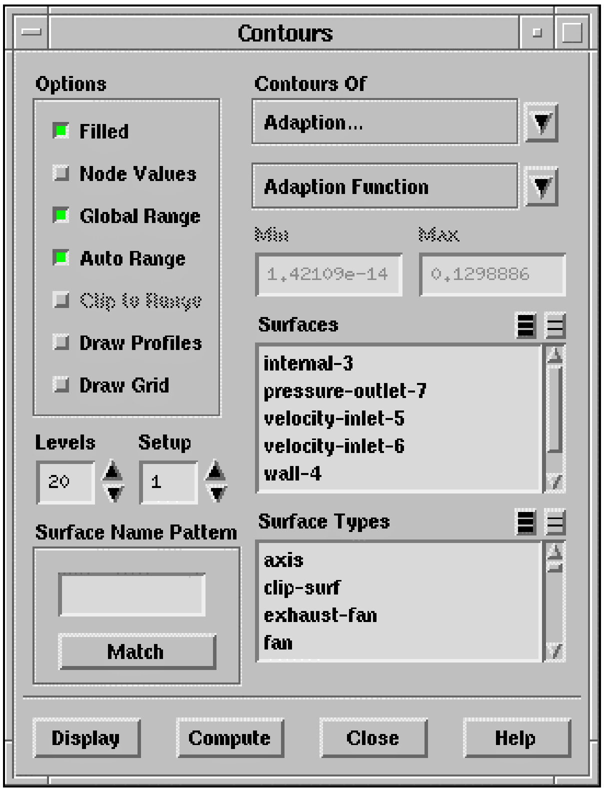
图 1.13　基于单元的温度分布图

www.myCFD.cn

注意：

观察图像，可以看到单元的温度值，但单元间边界不光滑了。节点的温度值是对所有共用该节点的单元温度值进行平均而得到的，网格单元内各点的温度相同，这个值存储于网格单元中心，并以此进行图形显示。在准备改进网格时，应先看一下单元的值，可以看出将要进行网格改进的区域。

2. 绘制用于改进网格的温度梯度图。（图 1.14）



a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Adaption...**和 **Adaption Function**。

b) 点击 **Display**，便可绘制出基于单元的温度梯度图。

www.myCFD.cn

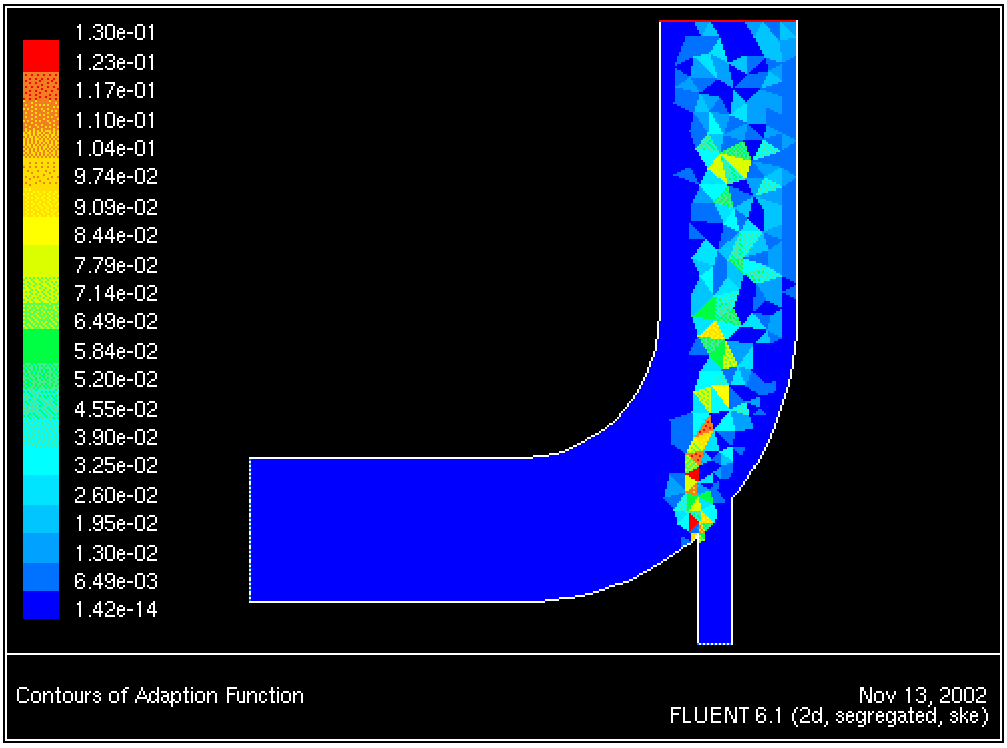


图 1.14　温度梯度图

注意：

Adaption Function 默认为变量的梯度，变量的 **Max** 和 **Min** 为最新计算的值，其大小可以在 **Contours** 对话框中显示。在此算例中，当点击 **Display** 后，温度变量瞬间静态的 Max 和 Min 为最新计算的值。另外，对某些问题来说，其它变量的梯度对改进网格更有用。

3. 在一定范围内绘制温度梯度，标出需要改进的单元。(图 1.15)

a) 在 **Options** 项中不选择 **Auto Range**，由此，以改变最小温度梯度值。

从 **Contours** 对话框中可以看到最小温度梯度值为 0 **K/m**。

b) 在 **Min** 栏中输入新值 **0.02**。

c) 点击 **Display**。

图中彩色的网格属于“高梯度”范围，它们是网格自适应的对象。

www.myCFD.cn

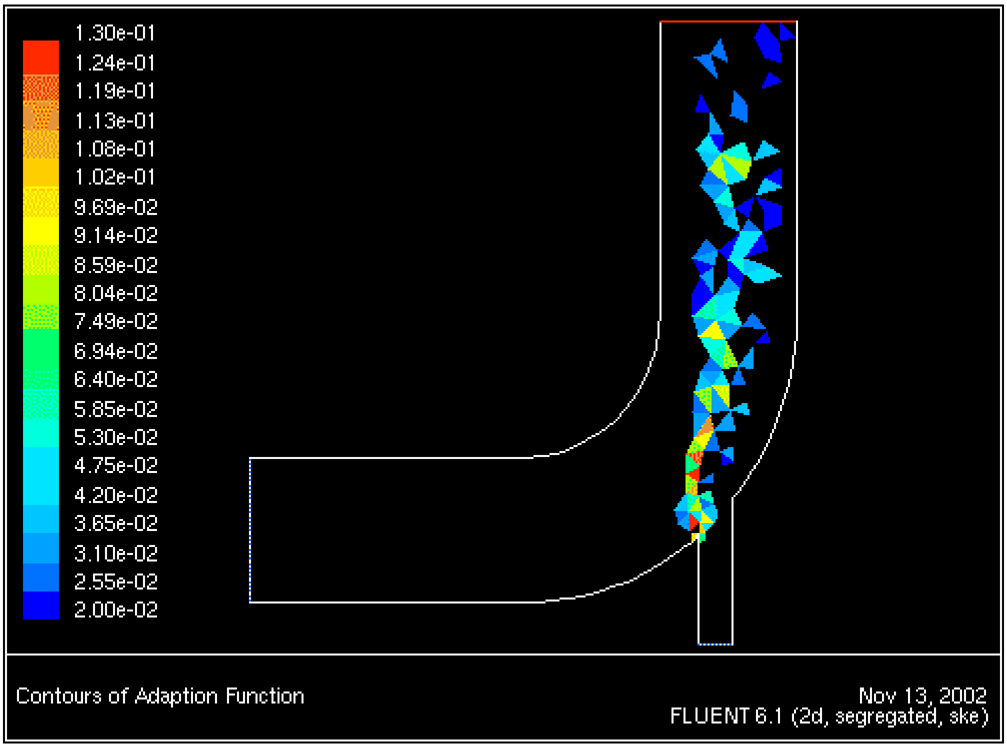


图 1.15　在一定范围内的温度梯度图

4.　对高温度梯度区域内的网格进行改进。

Adapt　→Gradient...

a)　在 **Gradients Of** 下拉列表中选择 **Temperature...**和 **Static Temperature**。

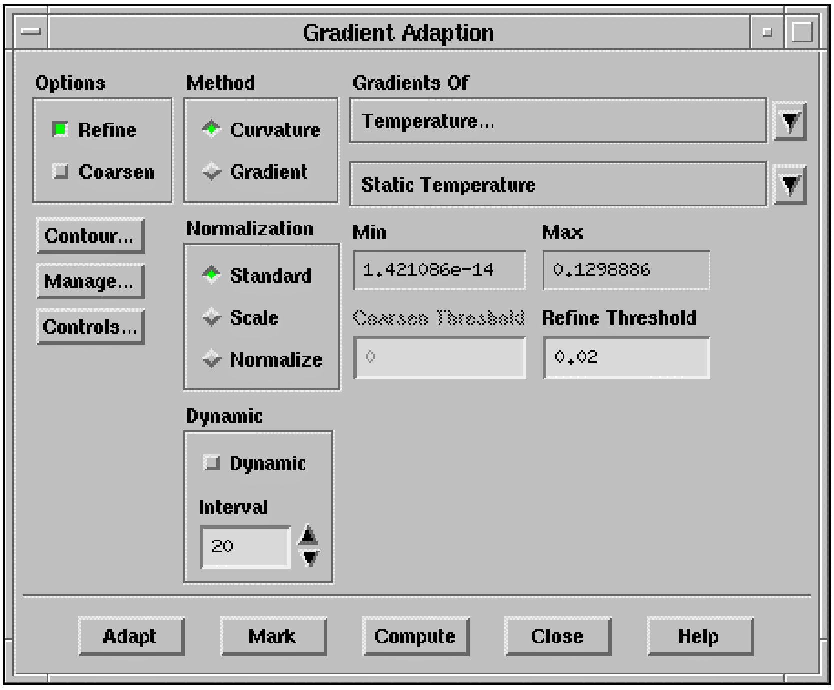
b)　在 **Options** 栏中不选择 **Coarsen**，仅执行网格的修改功能。

c)　点击 **Compute**。

Fluent 将修正 Min 和 Max 的值。

d)　在 **Refine Threshold** 栏中输入 **0.02**。

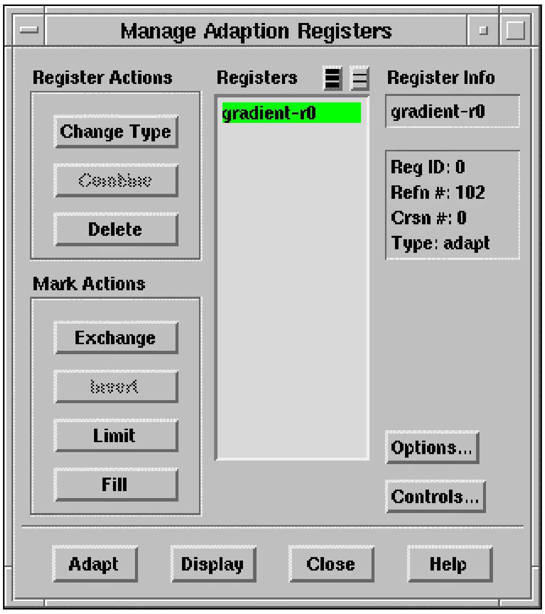
www.myCFD.cn



e) 点击 **Mark**，Fluent 将会在信息反馈窗口显示将要改进的单元数量。

f) 点击 **Manage...**。

将会打开 **Manage Adaption Registers** 对话框。



g) 点击 **Display**。

Fluent 会显示已标记的要进行改进的单元。（图 1.16）

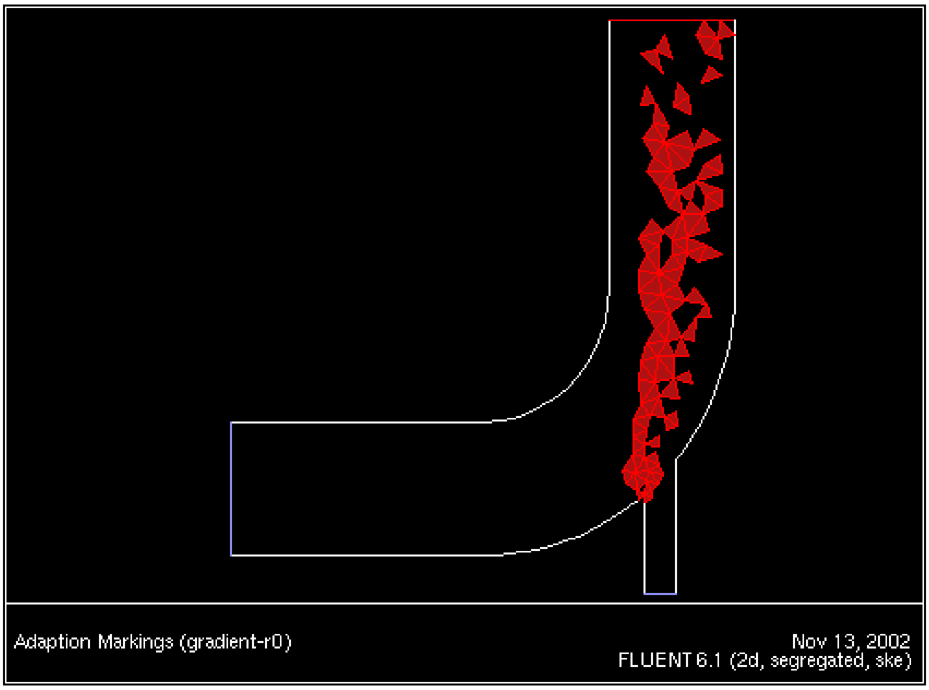
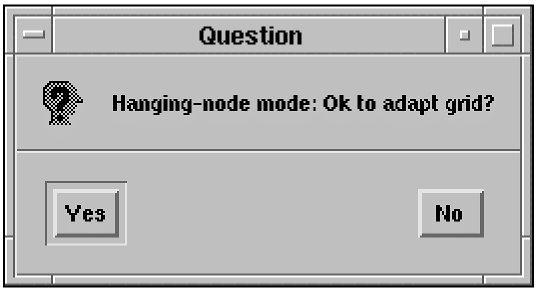


图 1.16 被标记的要进行改进的单元

www.myCFD.cn

h) 点击 **Adapt**，当弹出对话框时，点击 **Yes**。



注意：

有两种操作方式可以改进网格单元。一种是像上述的那样，点击 **Manage Adaption Registers** 对话框中的 **Adapt**。另一种是点击 **Close** 关闭 **Manage Adaption Registers** 对话框，再在 **Gradient Adaption** 对话框中执行改进的操作。如果点击 **Gradient Adaption** 对话框中的 **Adapt**，则 Fluent 还会开启一个确认操作的对话框。因此，点击 **Manage Adaption Registers** 对话框中的 **Adapt** 会更节省时间。

i) 关闭 **Manage Adaption Registers** 和 **Gradient Adaption** 对话框。

5. 显示改进后的网格。（图 1.17）

Display →Grid...

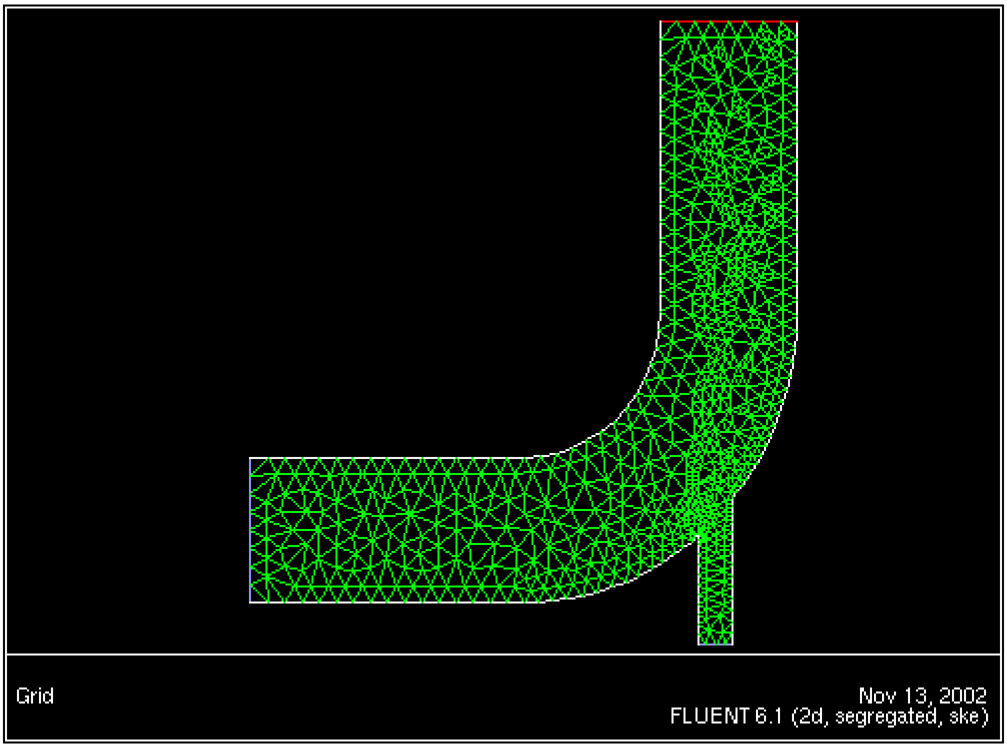
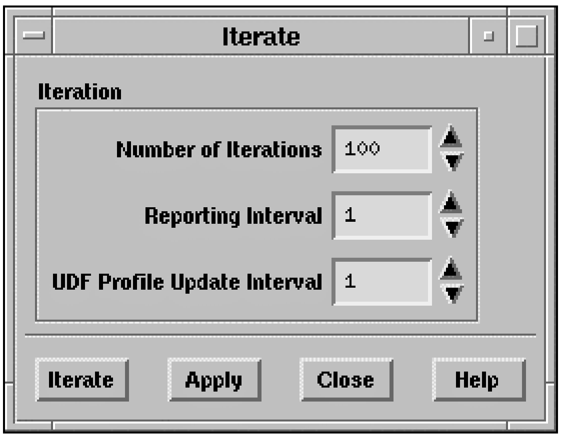


图 1.17　改进后的网格

6.　继续进行 **100** 次迭代计算。

Solve　→Iterate...



www.myCFD.cn

经过大约 40 次迭代计算后计算收敛

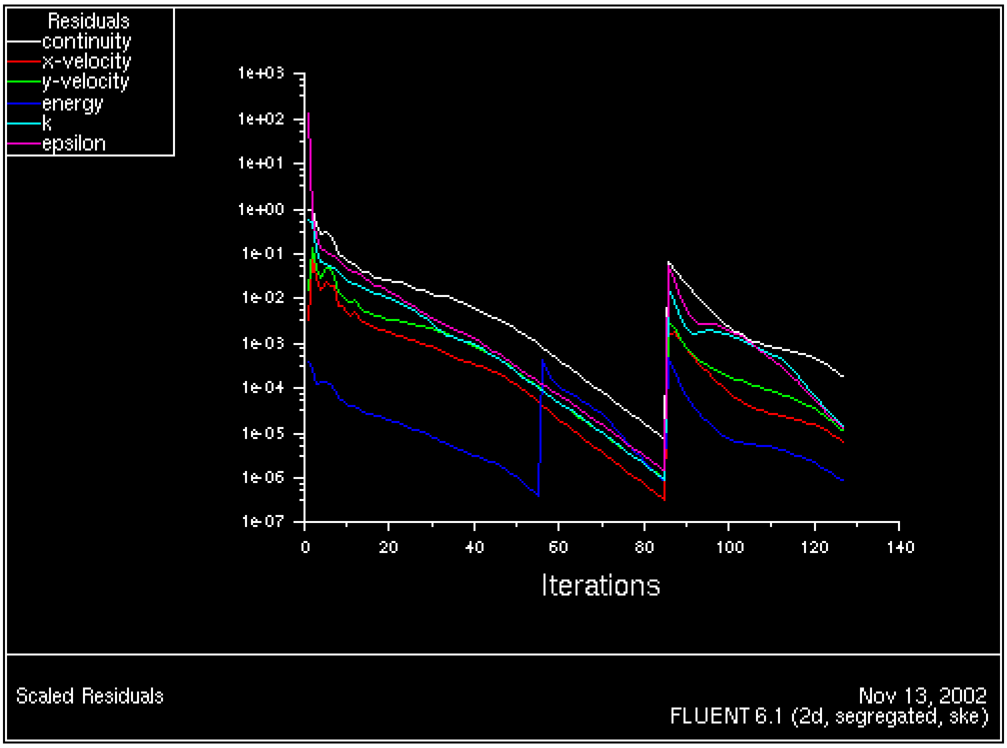


图 1.18　全部迭代计算的残差值曲线

7. 　使用前缀为 elbow3 保存 case 和 data 结果文件（**elbow3.cas** 和 **elbow3.dat**）。

File →**Write** →**Case & Data...**

8. 　查看使用改进的网格计算的温度分布情况。（图 1.19）

Display →**Contours...**

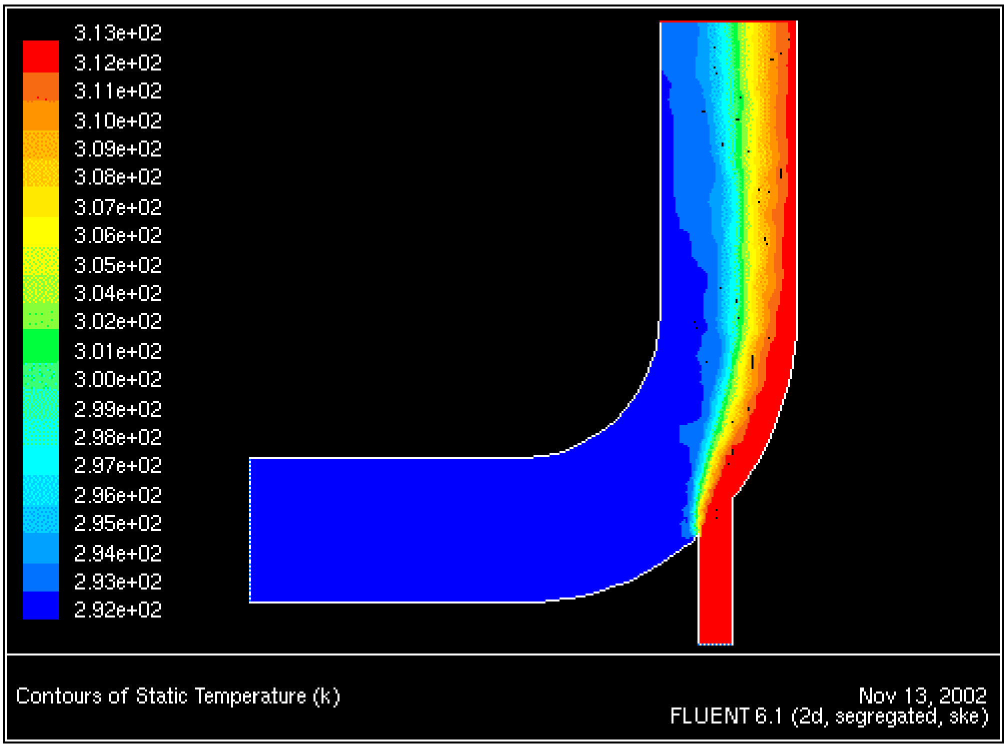


图 1.19　使用改进的网格计算的温度分布

概要

通过比较最初的温度分布图（使用原始的网格和一阶离散化方法计算所得）和最终的温度分布图（使用改进过的网格和二阶离散化方法计算所得），可以清楚发现，后者的温度分布扩散的程度没有前者大。因此，当一阶离散化计算方法为 Fluent 默认设置时，用户可以先以一阶离散化方法计算出一个结果，在此结果为基础，改进网格和使用二阶离散化计算方法求解更佳的结果。

在此算例中，因为是定常流动，所以流场和温度场可以独立计算。因此，可以先求解流场（可选择不使用能量方程），再求解温度场（可选择不使用流动方程）。在此过程中，可以在 **Solution Controls** 面板中选择打开或关闭各种控制方程。

www.myCFD.cn

算例 4 非定常可压缩流动模型

引言

在这个算例中，将会解决二维方箱中的辐射与自然对流相结合的问题，网格采用四边形单元网格。

在这个算例中将会学到以下知识点：

1.应用 Fluent 中各种辐射模型 Rosseland, P-1, DTRM, 离散坐标模型(DO), 和 surface-to-surface (S2S)，并理解各个模型的适用范围。

2. 使用 Boussinesq model 定义密度；

3.设定辐射与自然对流传热问题的边界条件；

4.将单一的墙划分为多个墙区域；

5.对已有的流体物性进行修改；

6.用隔离求解器求解；

7.显示速度矢量和流函数等值线，以及温度等值线；

前提条件

做这个算例的前提条件是你已经对 FLUENT 的菜单结构非常熟悉，同时你已经完成或是阅读过算例 1.因此在过程中的一些步骤将会省略。

问题描述

喷管图示如 4.1.在这个简单的喷管中的流动可以认为是二维的平面流动。喷管入口高度为 0.2m，喷管采用正玄曲线外形同时在中间有 10%的收缩。因为图形时对称的，所以在建

模时只须考虑喷管的一半。

www.myCFD.cn

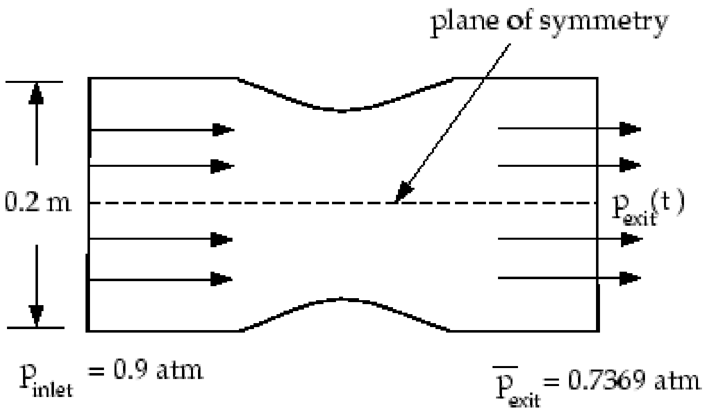


图 4.1 问题描述

准备工作

1. 把文件 FLUENT 光盘文件中的 nozzle/nozzle.msh and nozzle/pexit.c 复制到你的工作目录下（就像算例 1 所描述的一样）。
2. 启动 FLUENT 的二维单精度求解器（2D version)。

第 1 步：与网格有关的操作

1.读入网格文件 nozzle.msh

File →Read →Case...

2.检查网格

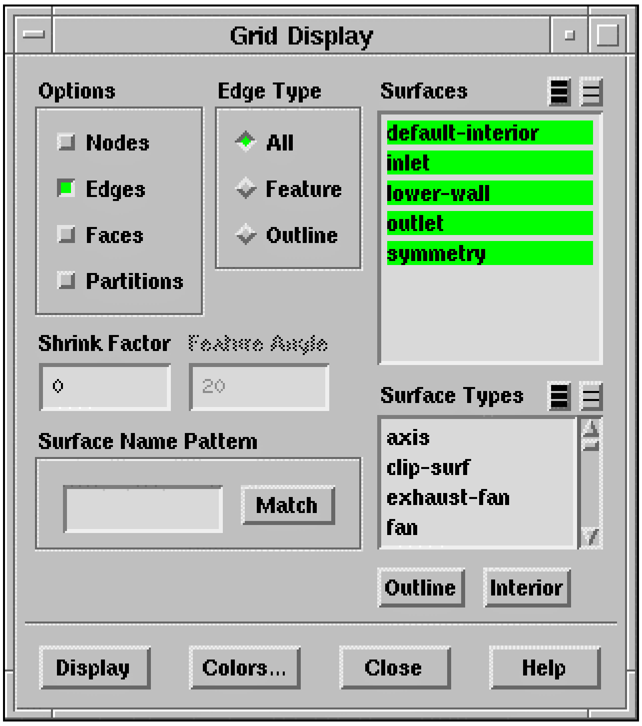
Grid →Check

FLUENT 将会对网格进行各种检查，并将结果信息在控制窗口中显示出来。要特别注意的是最小体积一项（*minimum volume*），要确保这一项的数值不是一个负值。

1. 显示网格

Display →Grid...

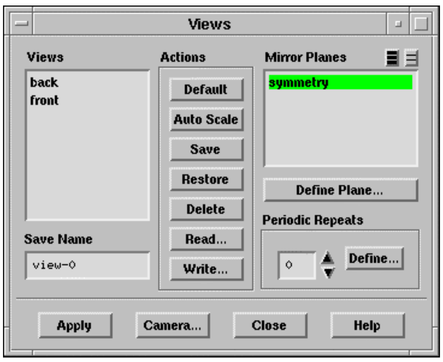
www.myCFD.cn



为了更好的现实网格，可以利用中心线（镜面）进行镜像操作。

2. 通过中心线进行镜像操作

Display →Views...



(a)、在 Mirror Planes 栏中选择 symmetry

（b）、点击 Apply

则喷管网格图将显示如下图 4.2：

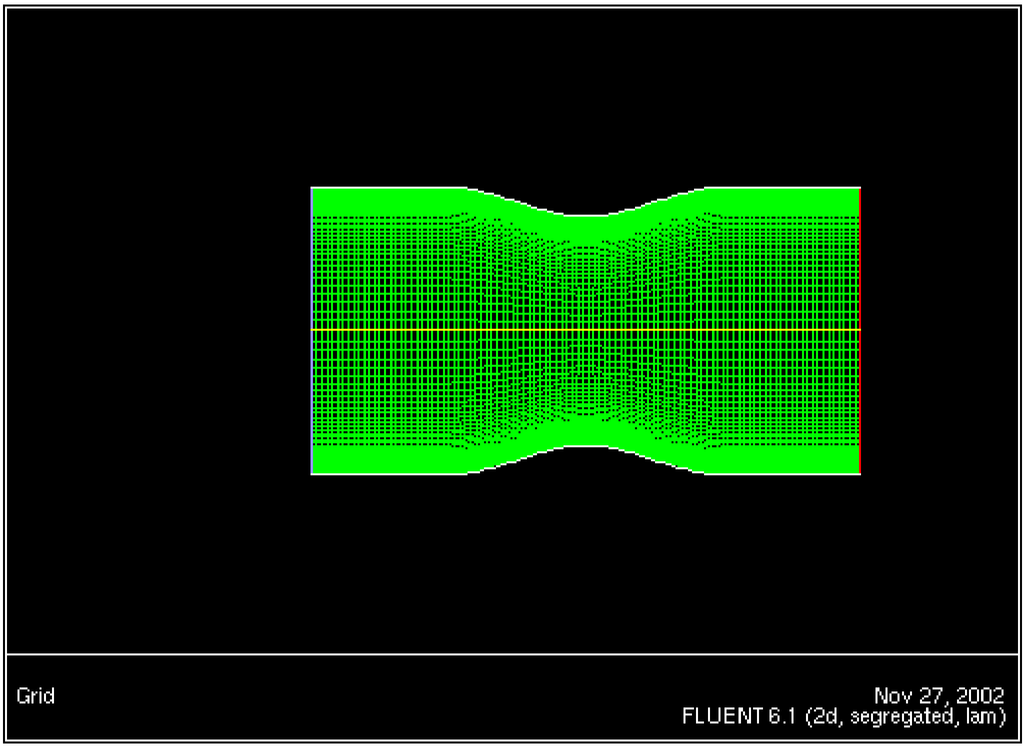


图 4.2：二维喷管网格显示

第 2 步 ： 单位问题

1. 为了方便，定义一个新的压力单位

在这个例子中的压力是以 atm 为单位的，atm 不是默认单位，因此需要将压力单位重新定义为 atm

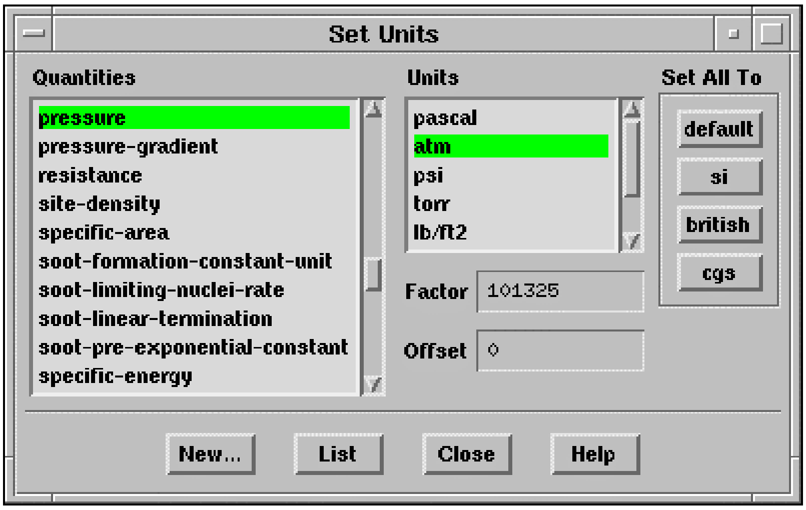
Define →Units...

（a） 在 Quantities 栏中选择 pressure，在 Units 栏中选择 atm

www.myCFD.cn

提示：在选择 pressure 时，要注意使用滚动条，因为有一些选项是不可见的。

（b） 点击 close 关闭对话框



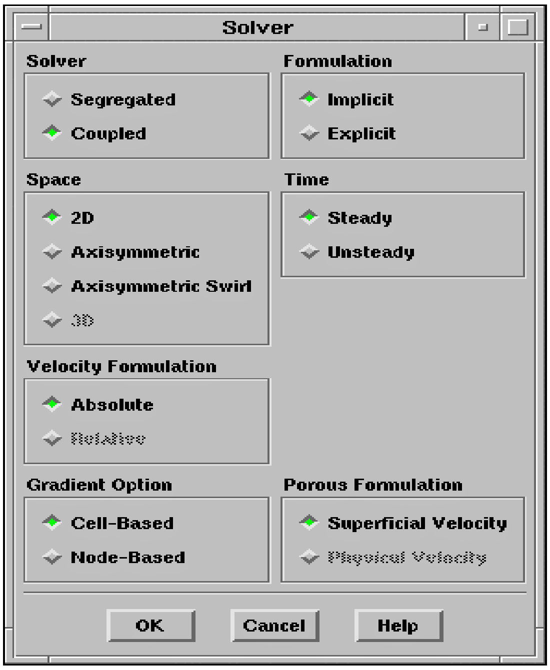
第 3 步：　模型选择

1. 选择耦合、隐式求解器

在可压缩的亚音速流动是一般选择耦合、隐式求解器

Define →Models →Solver...

www.myCFD.cn

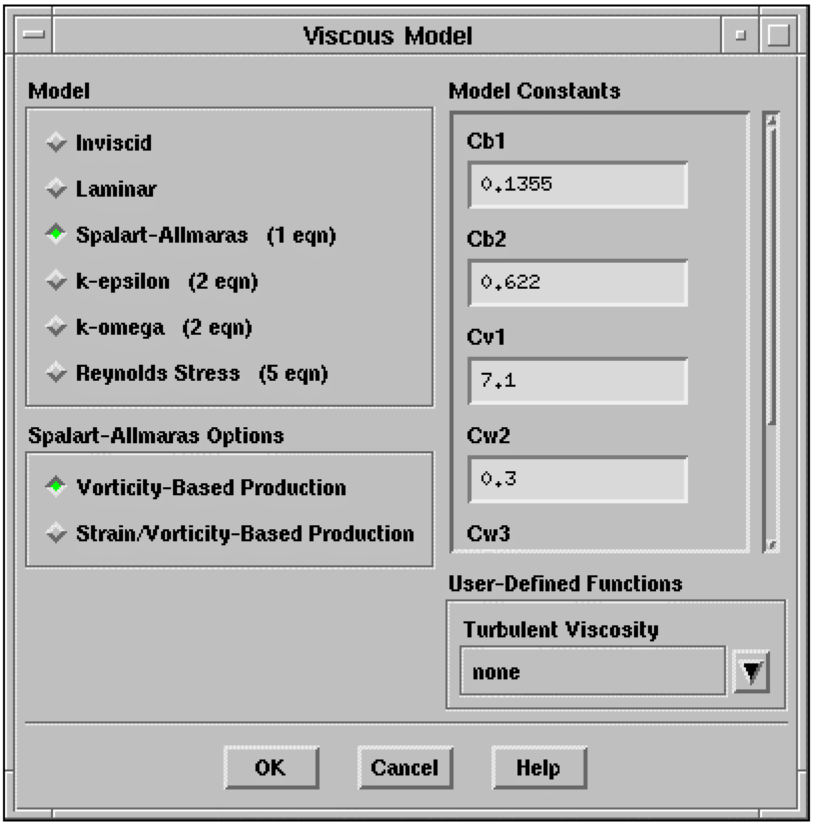


注意：首先求解喷管的定常流动情况，在获得定常流动的数据后，再将此数据作为非定常流动的初始值重新操作一遍。

2. 选择湍流模型为 Spalart-Allmaras turbulence model

Define →Models →Viscous...

www.myCFD.cn

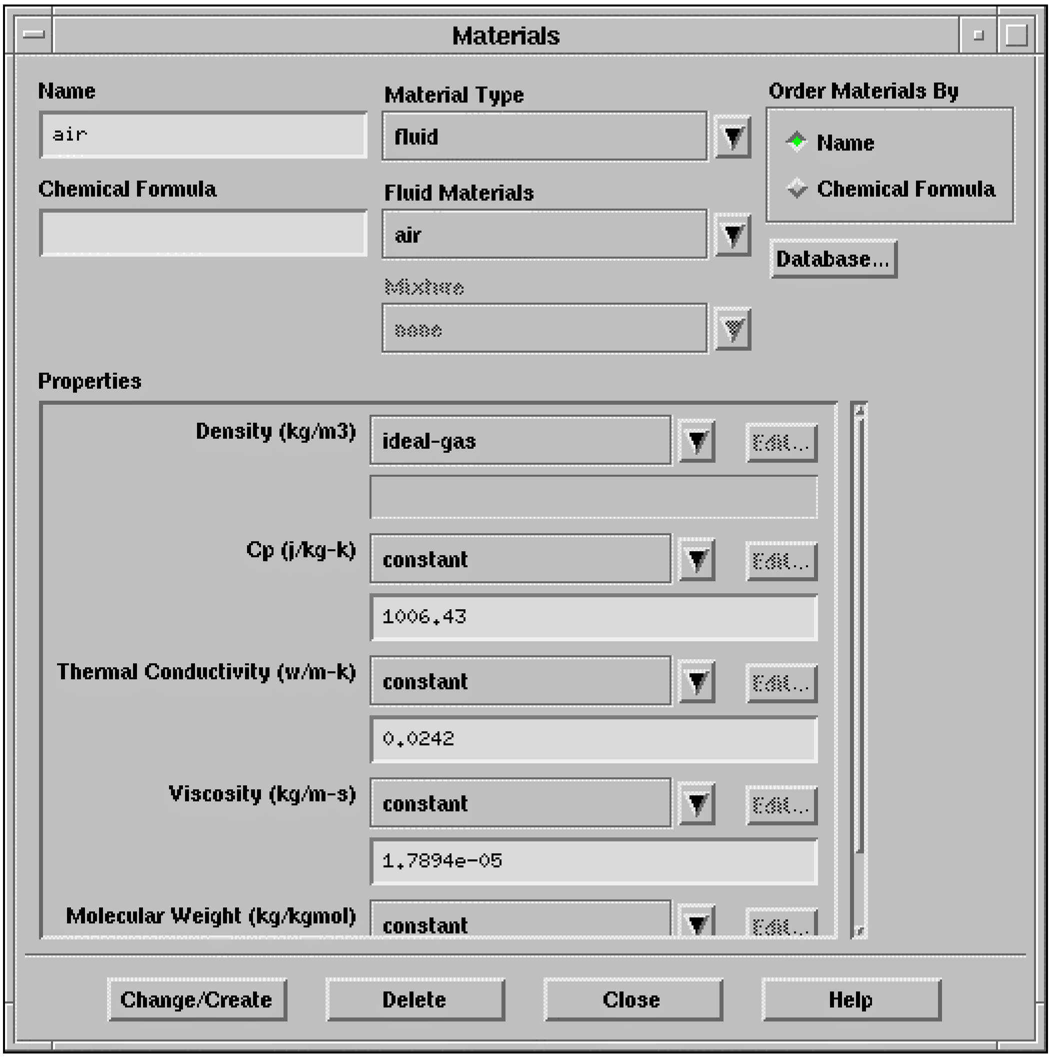


Spalart-Allmaras 模型是一种相对简单的一方程模型，它可以解决动力涡粘性的传递方程。在一方程模型中，涉及到局部剪切层厚度的长度不需要计算。*Spalart-Allmaras* 模型主要是用在航天领域里有固壁边界的流动的一种软件模型，在具有压力对称的情况下这种模型的到的结果是比较的合适的。

第 4 步 ： 材料特性

1. 把材料设置为空气，这是默认的流体材料

Define →Materials...



（a） 在 properties 栏中的的 Density 菜单中选择 ideal-gas

注意：这时 Fluent 将会自动激活求解能量方程，不用再到能量方程设置对话框（*Energy panel*）去进行设置了。

（b） 保留所有选项的默认设置

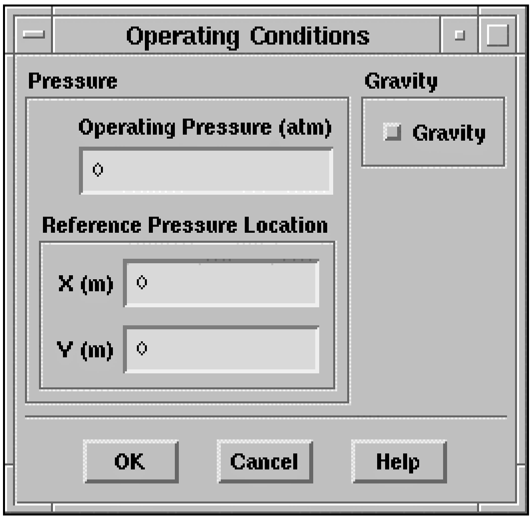
注意：不要忘了点击 Change/Create 按钮来保存设置

www.myCFD.cn

第 5 步：设置工作压力条件

1. 设置工作压力为 0atm

Define →Operating Conditions...



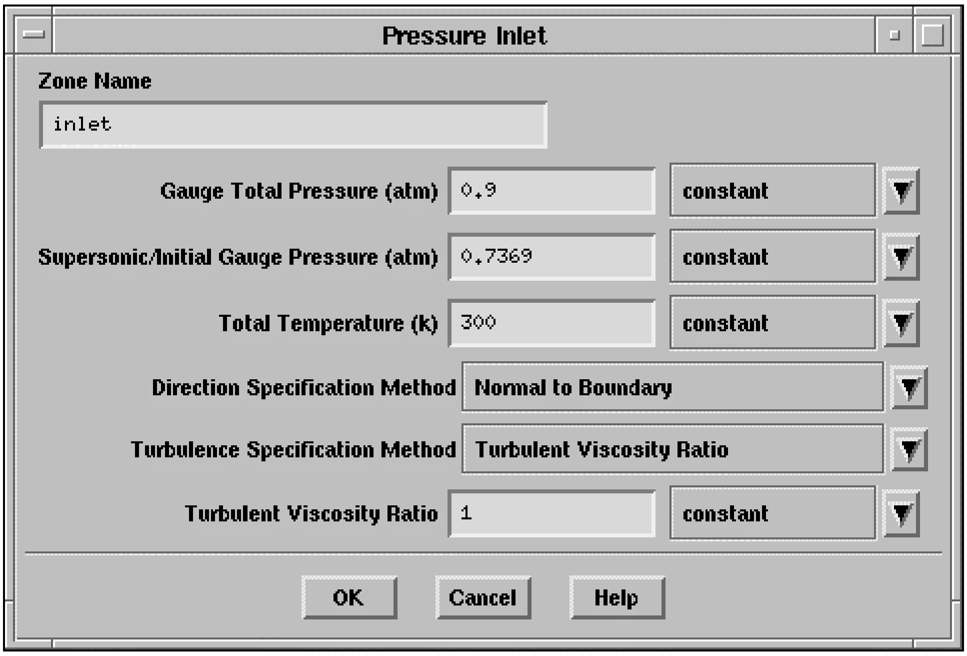
起始工作压力设置为 0，在边界条件设置时，是以绝对压力来定义的。边界条件中的压力总是相对于工作压力的。

第 6 步：边界条件设置

Define →Boundary Conditions...

1. 设置喷管入口边界条件（inlet）。

www.myCFD.cn



（a） 将 Gauge Total Pressure（总压）设置为 0.9atm

（b） 将 Supersonic/Initial Gauge Pressure （超音速\初始表压）设置为 0.7369atm　　　　注意：喷管入口处的滞止压强是根据出口处的平均压强计算出来的。这个只在

初始化中用来估计管内的速度。

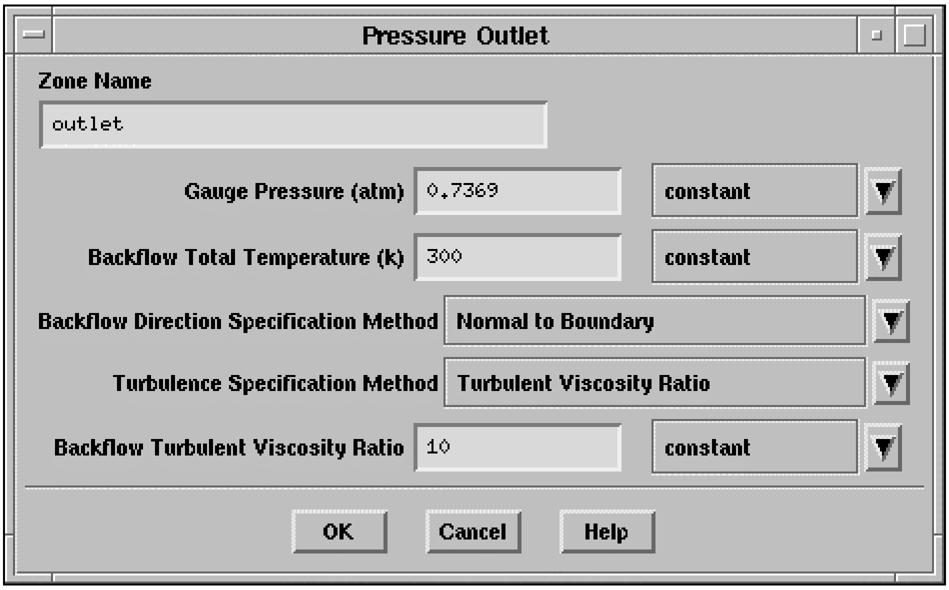
（c） 在 Turbulence Specification Method （湍流定义方法）下拉菜单中选择 Turbulent Viscosity Ratio（湍流粘性比）。

（d） 设置 Turbulent Viscosity Ratio　为 1

对于中等偏下的入口湍流，粘性比为 1 是建议值。

2. 设置喷管出口边界条件(outlet).

www.myCFD.cn



（a）设置 Gauge Pressure（表压） 为 0.7369atm

（b）在 Turbulence Specification Method 下拉菜单中选择 Turbulent Viscosity Ratio

（c）保持 Backflow Turbulent Viscosity Ratio （回流湍流黏度）为 10 的默认设置 。

注意：如果在出口处真的发生了回流，就应该适当的调整回流值以适应实际的出口条件。

第 7 步：求解定常流动

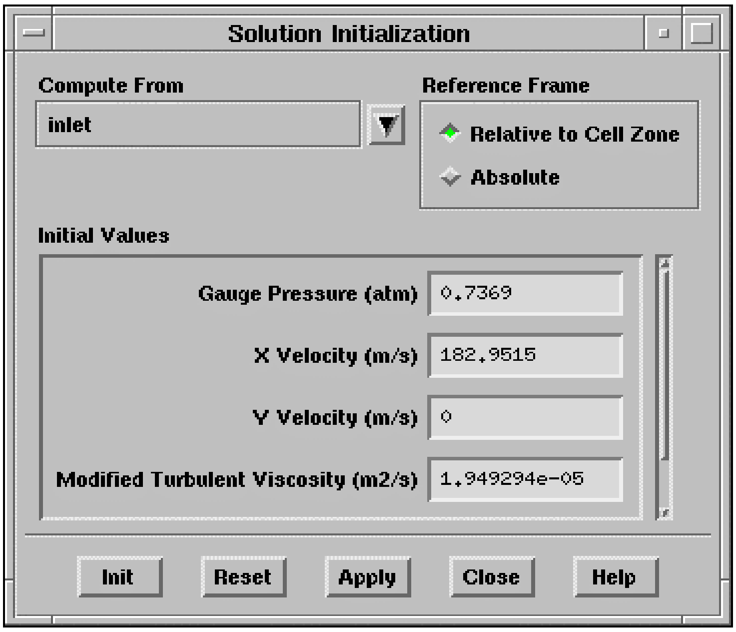
1. 初始化

Solve →Initialize →Initialize...

www.myCFD.cn

（a） 在 Compute From 下拉菜单中选择 inlet

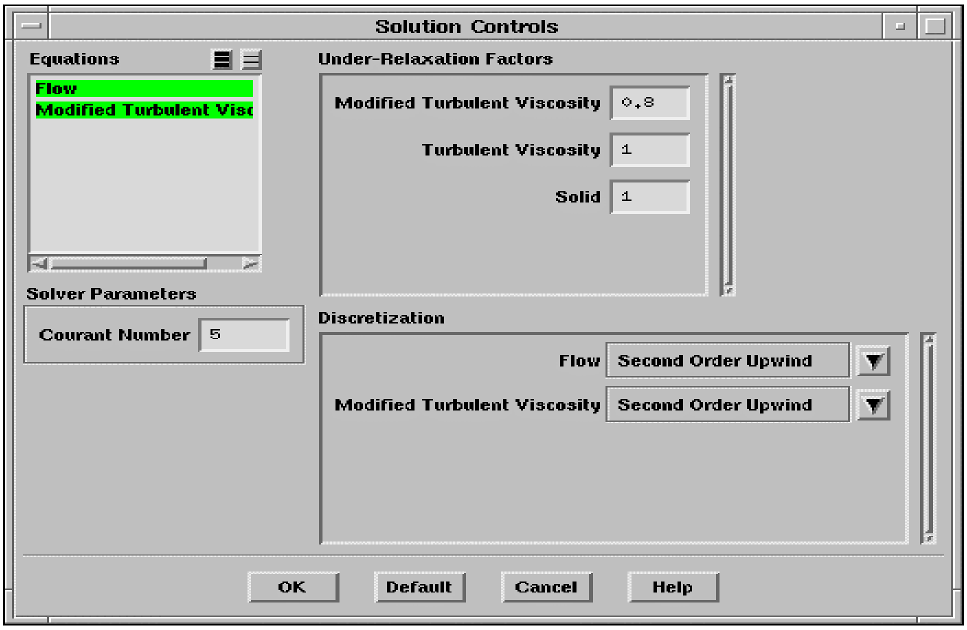
（b） 点击 Init，关闭对话框。



2. 设置求解器参数

Solve →Controls →Solution...

www.myCFD.cn

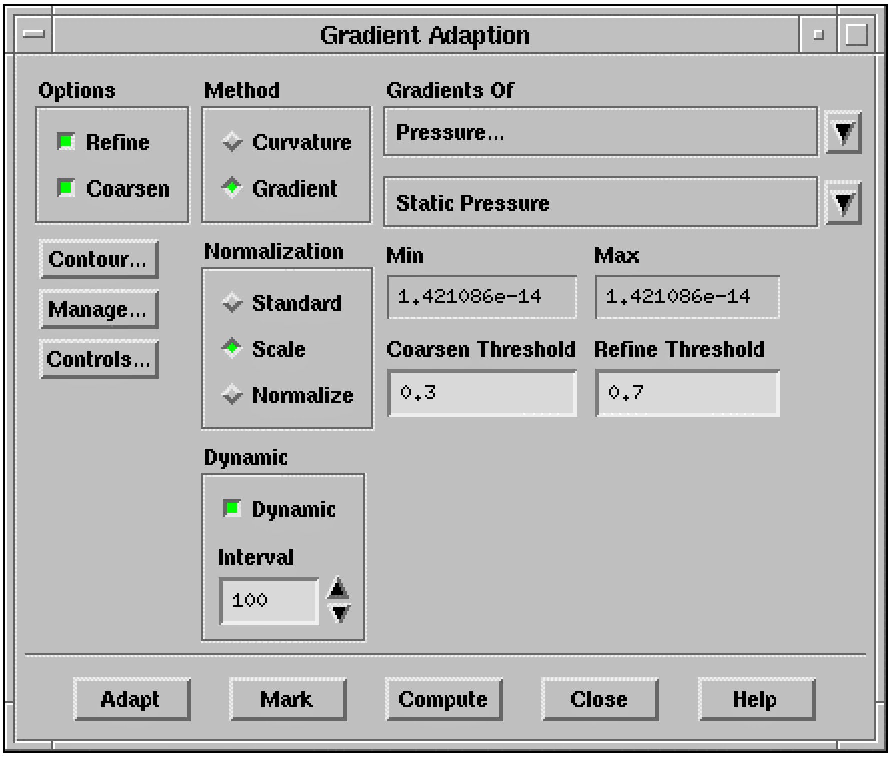


（a） 在 Discretization 栏中，Modified Turbulent Viscosity 选择 Second Order Upwind。

3. 使用梯度自适应优化网格

Adapt →Gradient

www.myCFD.cn



（a） 在 Method，栏下选择 Gradient.

注意：网格的匹配标准可以是梯度也可以是曲率（第二个梯度）。因为在喷管内部经常有强烈的波动撞击，梯度就只能使用匹配的标准。

（b） 在 Gradients Of 菜单中，确保选择了 Pressure...和 Static Pressure 两项

（c） 在 Normalization, 一栏中选择 Scale，

注意：网格匹配受到梯度原始值的影响，包括标度值（范围内的平均值）、规格化值（范围内的最大值）。为了保证动态网格匹配的问题，在计算过程中必须用到标度值

又要用到规格化值，因为在计算过程中原始值可能会随着强烈的波动而发生变化。这就需要重新调整变粗糙了的条件以适应初始条件。基于这些原因，就有必要标度梯度。

（c） 设置 Coarsen Threshold 为 0.3

（d） 设置 Refine Threshold 为 0.7

注意：在较好的网格越大的区域，粗化度和匹配的临界值就应该越小。0.3 的粗化临界值和 0.7 的匹配临界值可以是中等的和较好的网格更好的与标度梯度相匹配。

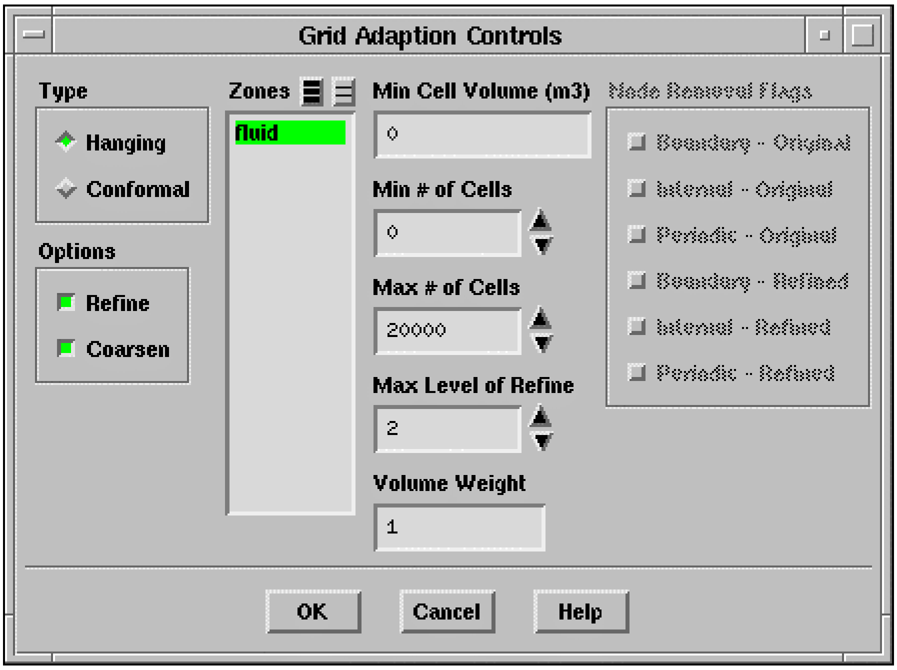
（e） 激活菜单 Dynamic 栏的 Dynamic ，将 Interval 设置为 100

注意：在定常流动中，只定义 100 次迭代的时间间隔虽然比较少，但已经足够了。在不定常流动中必须用到更小的时间间隔。

（f） 点击 Compute 和 Mark，储存设置信息。

（g） 点击 Controls...来修改适应控制。

www.myCFD.cn



i. 在 Grid Adaption Controls 菜单对话框中，激活 Dynamic 选项下的 Dynamic，将 Interval 设置为 100.

ii. 确保 Zones 菜单下的 fluid 选项被选择了。

iii. 将 Max # of Cells 设置为 20000.

注意：为了限制网格的匹配，单元格的最大值必须要有一个限度。如果这个限度和匹配值不一致的话，粗化度和匹配的临界值将会自动变化以适应单元格的最大值。另外，这个限制值可以定义在最小单元格栏、最小单元个数栏和最大匹配标准栏中。

iv. 点击 ok

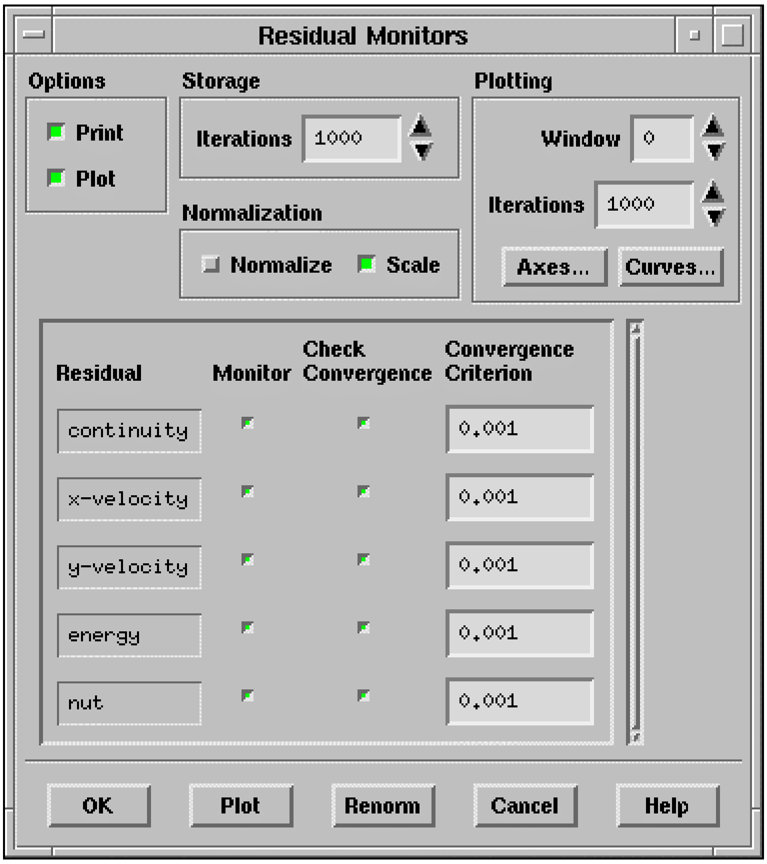
4. 设置残差监视器

www.myCFD.cn

Solve →Monitors →Residual...

（a） 在 Options 菜单中选择 Plot.，

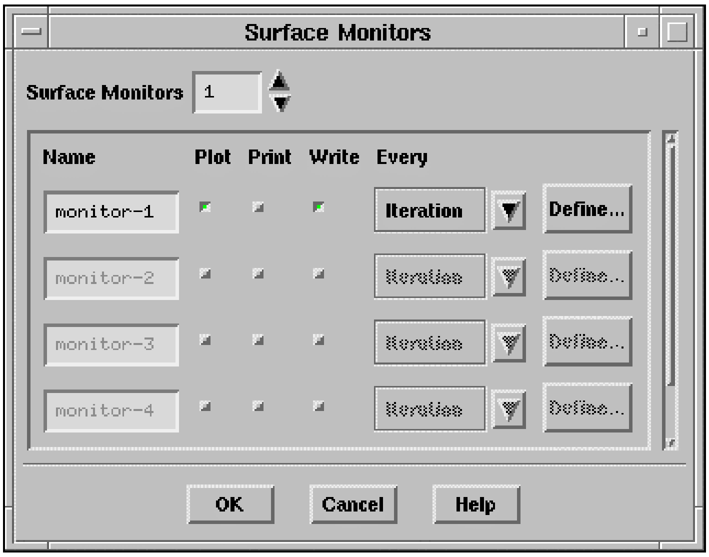
（b） 点击 ok



5. 在流动出口处设置质量流量监视器

Solve →Monitors →Surface...

www.myCFD.cn



（a） 将 **Surface Monitors** 的值增加到 1，

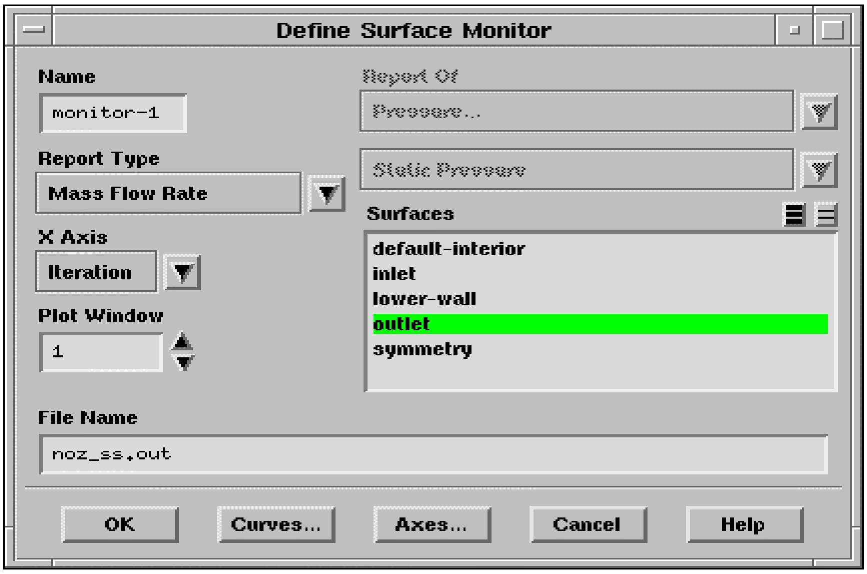
（b） 在监视器 1 中激活 **Plot** 和 **Write**

注意：选择了 ***Surface Monitors*** 对话框中的 ***Write***，意味着质量流量的出流过程将会被

输出到一个文件中。如果没有选择 write 的话，在推出 FLUENT 时这些信息将会丢失。

（c） 点击 **Define Surface Monitor** 对话框中的 **Define...** 例出表面监视器的清单

www.myCFD.cn



i.　在 **Report Type** 下拉菜单中选择 **Mass Flow Rate**

ii.　在 **Surfaces** 菜单中选择 **outlet**

iii.　在 **File Name** 项中填入 noz ss.out 作为输出文件名。

iv.　点击 ok 记住监视器设置。

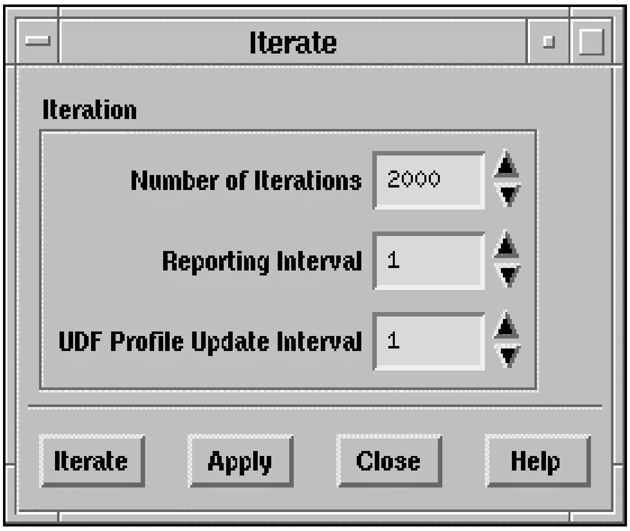
（d）点击 **Surface Monitors** 对话框中的 ok 完成监视器的设置

6. 保存 case 文件，文件名为：noz ss.cas

File →Write →Case...

7. 设置 2000 次迭代次数，开始计算

Solve →Iterate...



在迭代大约 1800 次后，计算收敛。质量流量曲线图如下图 4.3：

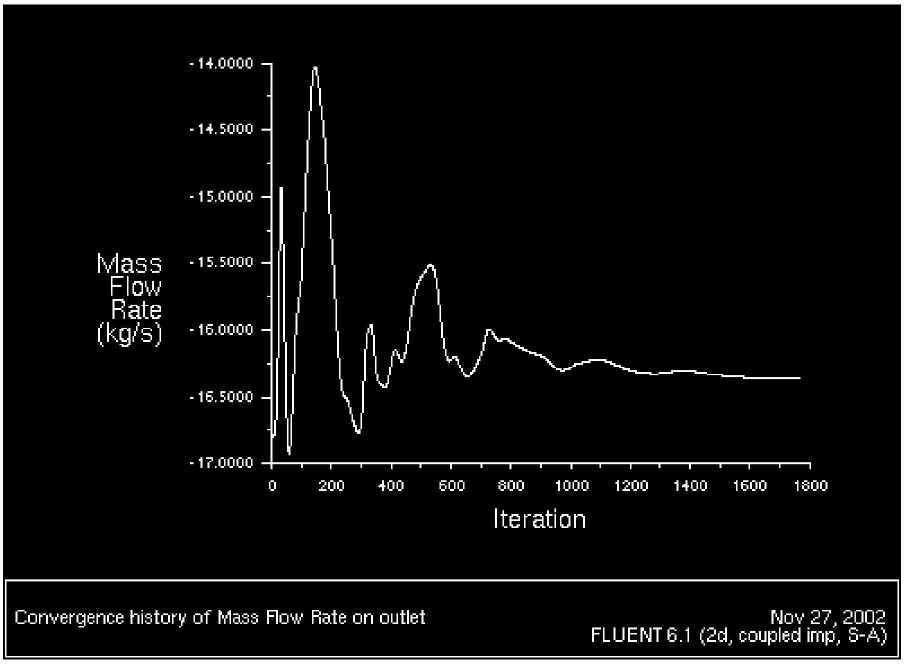


图 4.3 质量流量过程曲线

8. 保存 data 文件。文件名为 noz ss.dat

www.myCFD.cn

File →Write →Data...

9. 检查质量流量的连续性

Report →Fluxes...

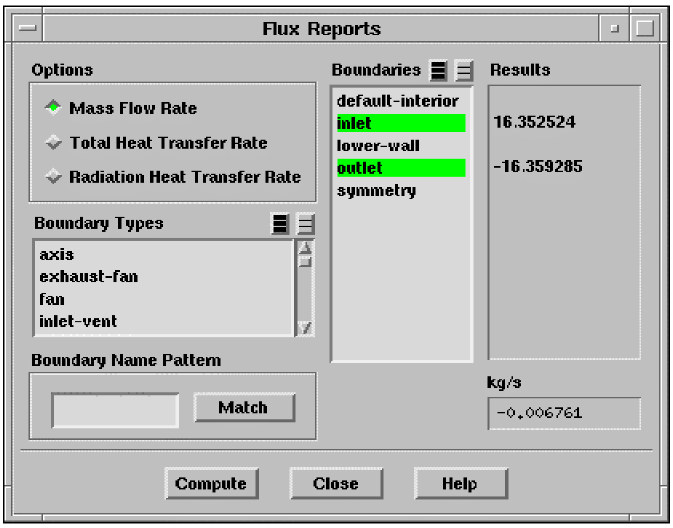
尽管质量流量曲线说明了解得收敛性，还应该检查一下在这个区域里质量流量是否满足质量守恒定律。

（a） 保持 Mass Flow Rate 的默认值不变

（b） 在 Boundaries 中选择 inlet 和 outlet

（c） 点击 Compute.

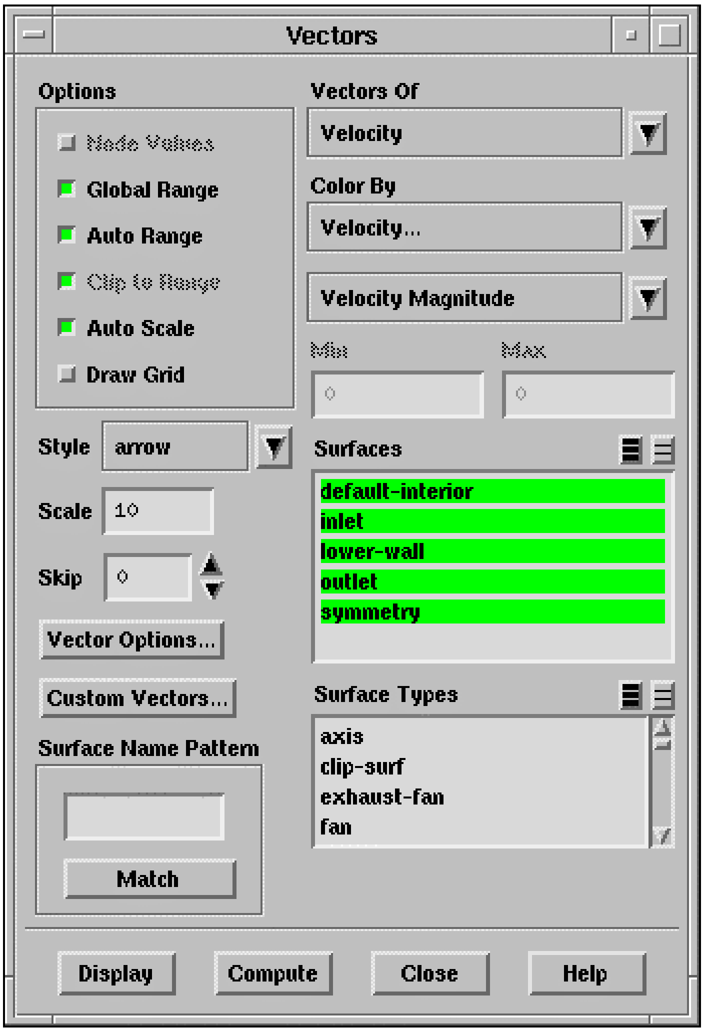
注意：在整个系统中的质量会有一定的误差，这个误差应在一定的范围之内（比如 0.5%）。如果误差较大的话，就应该降低残差的数量级以后重新计算。



10. 显示定常流动的速度矢量

Display →Vectors...

www.myCFD.cn



（a） 将 Scale 值该为 10，

（b） 在 Surfaces 菜单中，选中所有的面，

（c） 点击 Display.

定常流动计算表明，通过喷管的最高可达到 335m/s.

www.myCFD.cn

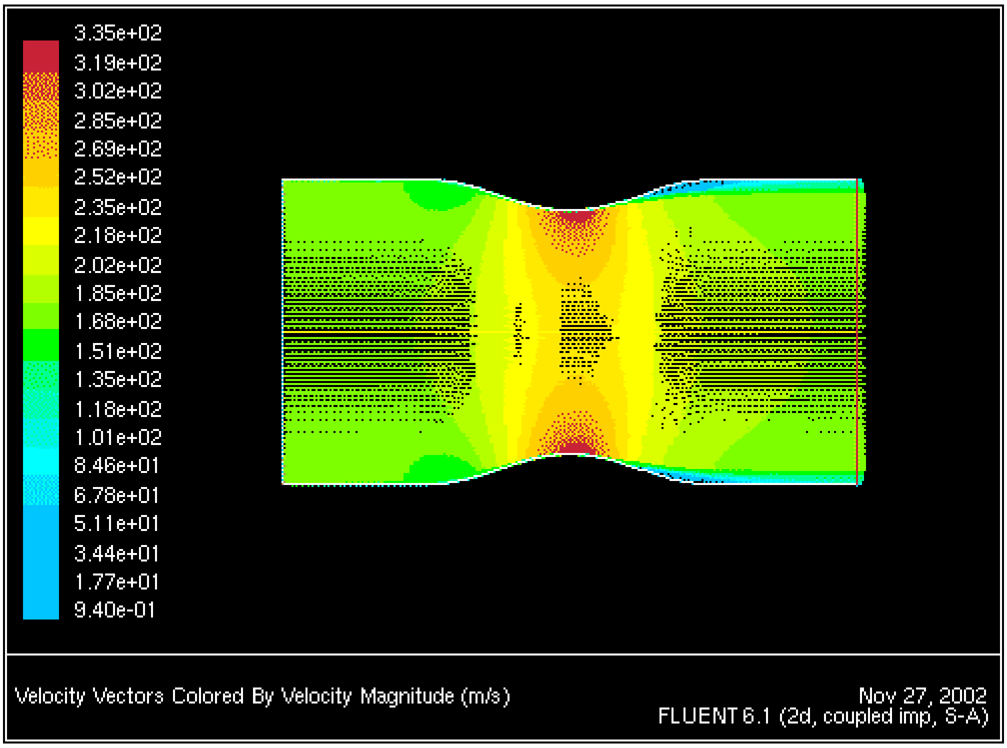
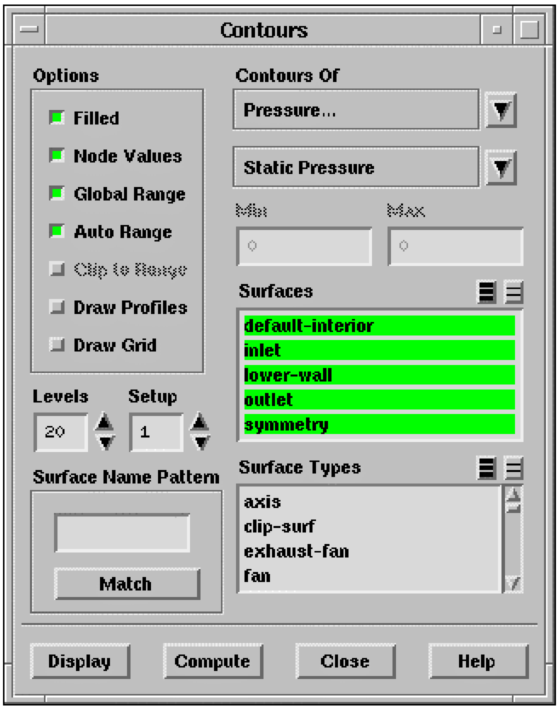


图 4.4 速度矢量（定常流动）

11. 显示定常流动静压的分布

Display →Contours...



(a) 在 Options 下方，选择 Filled.

(b) 在 Surfaces 菜单中，选中所有的面。

(c) 点击 Display。

定常流动的压力分布如下，在喷管的喉部处压力最低。

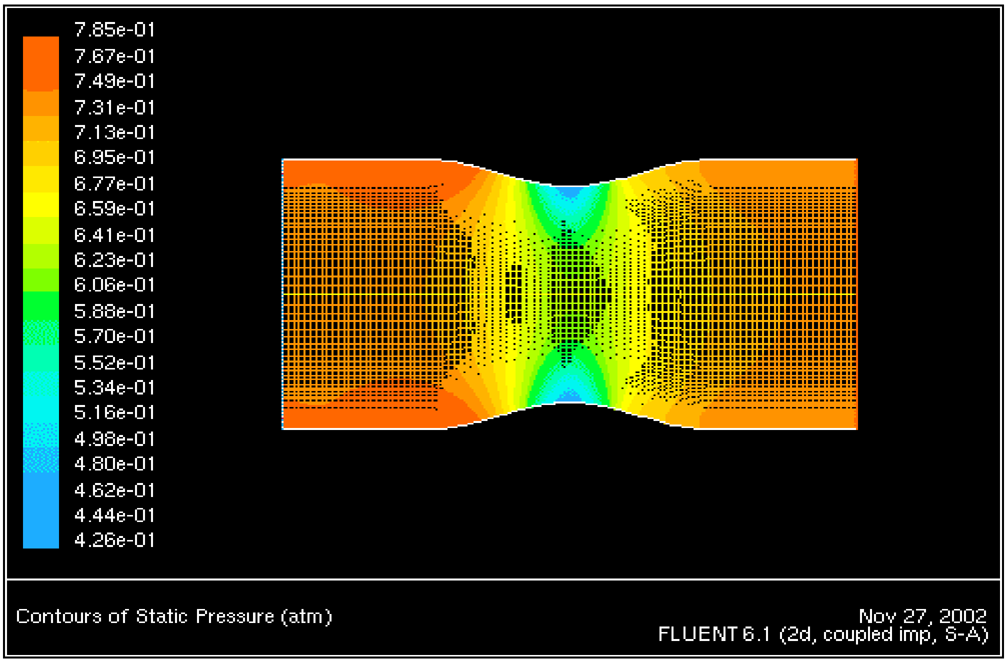


图 4.5　等压线（定常流动）

第 8 步：启动非定常流动和设置非定常流动的边界条件

1. 设置费定常流动求解器

Define →Models →Solver...

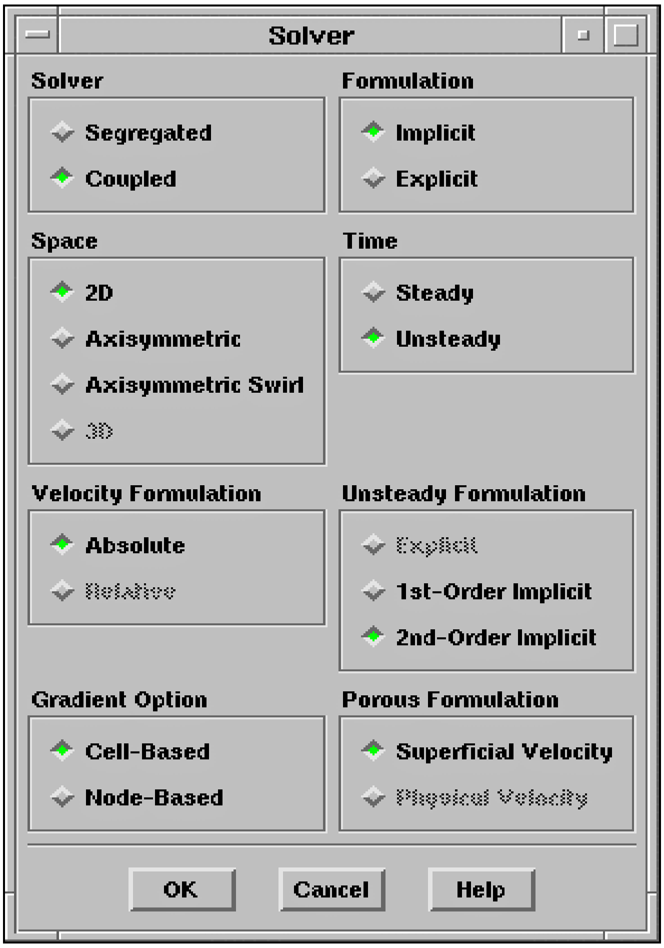
(a) 在 Time 栏下，选择 Unsteady.

（b）在 Unsteady Formulation 栏下，选择 2nd-Order Implicit

对于瞬态流动的仿真计算，隐式格式的时间推进法要求设置一个时间间隔（而 FLUENT 则是基于 Courant 条件来进一步确定内部迭代的时

www.myCFD.cn

间间隔。）设置二阶隐式（2nd-Order Implicit）时间推进法会使计算精度更高。



2. 为喷管出口定义非定常边界条件

定义出口截面上的压力变化曲线为一波形曲线，其控制方程为：

$$p_{\mathrm{exit}}(t) = 0.12\sin(\omega t) + \overline{p}_{\mathrm{exit}}$$

www.myCFD.cn

其中，

ω 为非定常压强的圆频率（rad/s）

$\overline{p}_{\rm exit}$ 为出口平均压强（atm）

设 $\omega = 2200$ rad/s，$\overline{p}_{\rm exit} = 0.7369$ atm

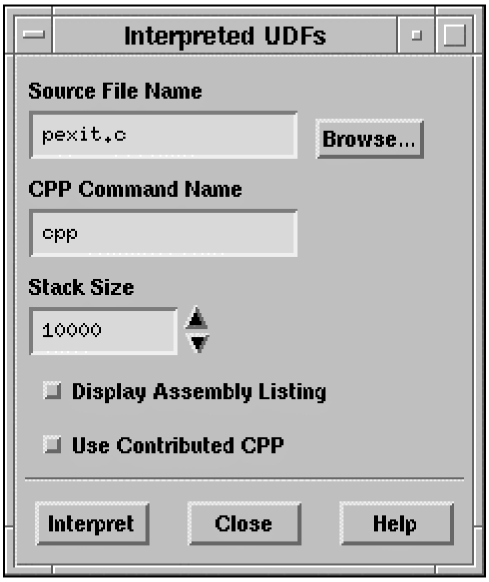
自定义函数（pexit.c）已经根据压力方程的需要进行了定义。

注意：在用此方程时要注意单位问题。函数 pexit.c 的值要用一个因数 101325 去乘，将所选单位（atm）转换为 FLUENT 要求的 SI 单位（Pa）。这将对结果不会产生影响。

关于自定义程序的问题，请参见 UFD 手册。

（a） 读入自定义函数

Define →User-Defined →Functions →Interpreted...



www.myCFD.cn

i.　在 Source File Name 栏中键入 pext.c

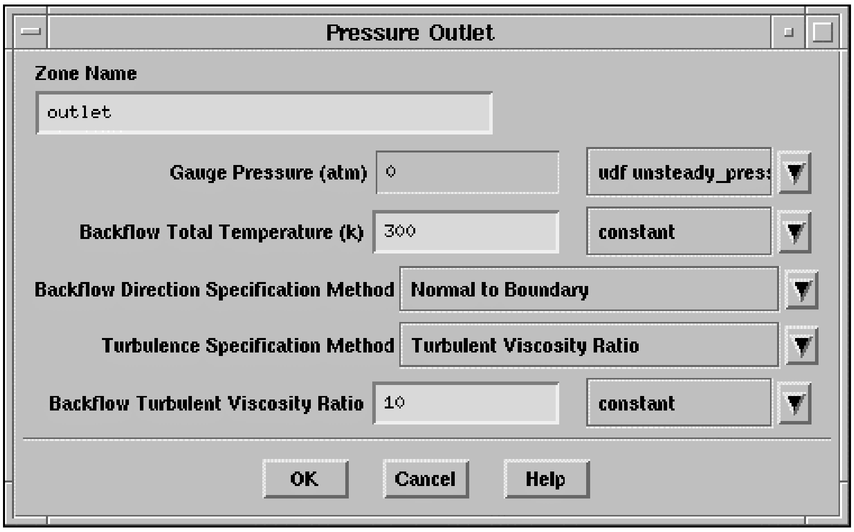
ii.　点击 Interpret

自定义函数已经定义好了，但是必须要在 FLUENT 中编译之后才能在解算器中使

用。

iii.关闭 Interpreted UDFs 对话框

（b）　设置出口处的非定常边界条件



i.　在 Gauge Pressure（表压）下拉菜单中选择 udf unsteady_pressure

2. 更新瞬时态时的梯度参数

Adapt →Gradient

（a）　将 Coarsen Threshold 重新设置为 0.3，

（b）　将 Refine Threshold 重新设置为 0.7.

www.myCFD.cn

在定常态计算时用到的 20000 个单元格中的优化临界值已经被更改了。因此有必要重新设置这些参数，使其返回原值。

（c） 在 Dynamic 栏下，将 Interval 设置成 1，

在瞬态时，需要在每个时间步长内进行网格优化。

（d） 先点击 Compute，然后点击 Mark，保存设置。

在窗口中将会显示出经过优化和粗化后的统计表。

（e） 点击 Controls...，来更改控制器。

i. 在 Grid Adaption Controls 对话框中，将 Min # of Cells 值设者为 8000

ii. 将 Max # of Cells 值设置为 30000.

为了消除粗化和优化临界条件的重新整理，必须将最大单元格数增加。同时最小单元格数必须限制在 8000 以上，因为在计算过程中不希望得到太粗的网格（通常网格数一般为 10000 个）。

iii. 点击 ok

第 9 步：求解非定常流动

1. 设置时间间隔的有关参数

设置时间间隔是 进行非定常流动计算的关键一步。本例设时间间隔为 2.85596*10-5s，压力波一个周期内需要 100 个时间间隔。压力波开始和结束均在喷管的出口处。

Solve →Iterate...

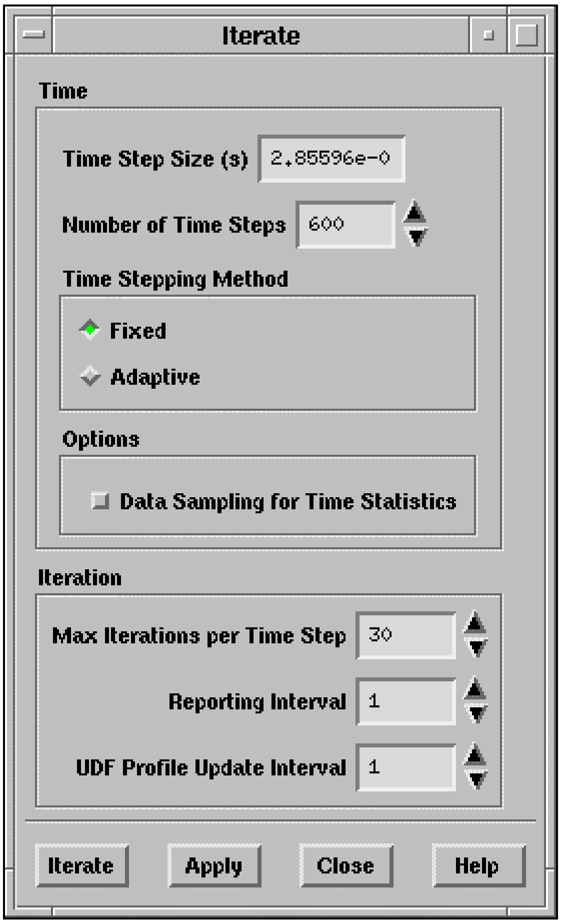
(a)将 Time Step Size 设置为 1.85596e-5s，

www.myCFD.cn

(b)将 Number of Time Steps 设置为 600，

(c)将 Max Iterations per Time Step 设置为 30，

(d)点击 Apply.



2. 修改喷管出口处质量流量监视器设置

因为每个时间间隔需要进行 30 次迭加，在每一格时间间隔内将会一些平滑的区域。

www.myCFD.cn

Solve →Monitors →Surface...

（a）在 monitor-1 中，Every 下面的下拉菜单中选择 Time Step，

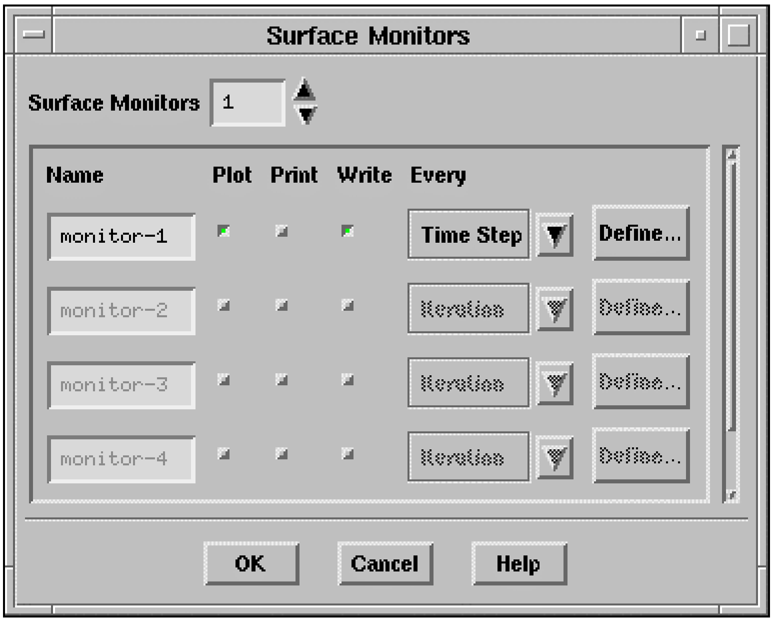
（b）点击 Define...来修改表面监视器参数。

i. 在 Define Surface Monitor 对话框中，将 File Name（文件名）改为 noz uns.out.

ii.在 X Axis 下拉菜单中选择 Time Step，

iii. 点击 ok.

（c） 在 Surface Monitors 对话框中点击 ok



3. 将瞬态解得求解结果保存到文件 noz uns.cas 中.

File →Write →Case...

4. 开始非定常瞬态流动计算

Solve →Iterate...

注意:计算 600 个时间间隔需要很大的 CPU 资源.在迭加计算完成之后,可以从文件 noz uns.cas 中查看数据 (这个数据文件仍然保存在与 mesh 和 UDF 相同的文件夹中).

经过 600 个时间间隔的迭代计算,FLUENT 将完成 6 个压力波的流动过程计算.质量 流量过程曲线如下图 4.6:

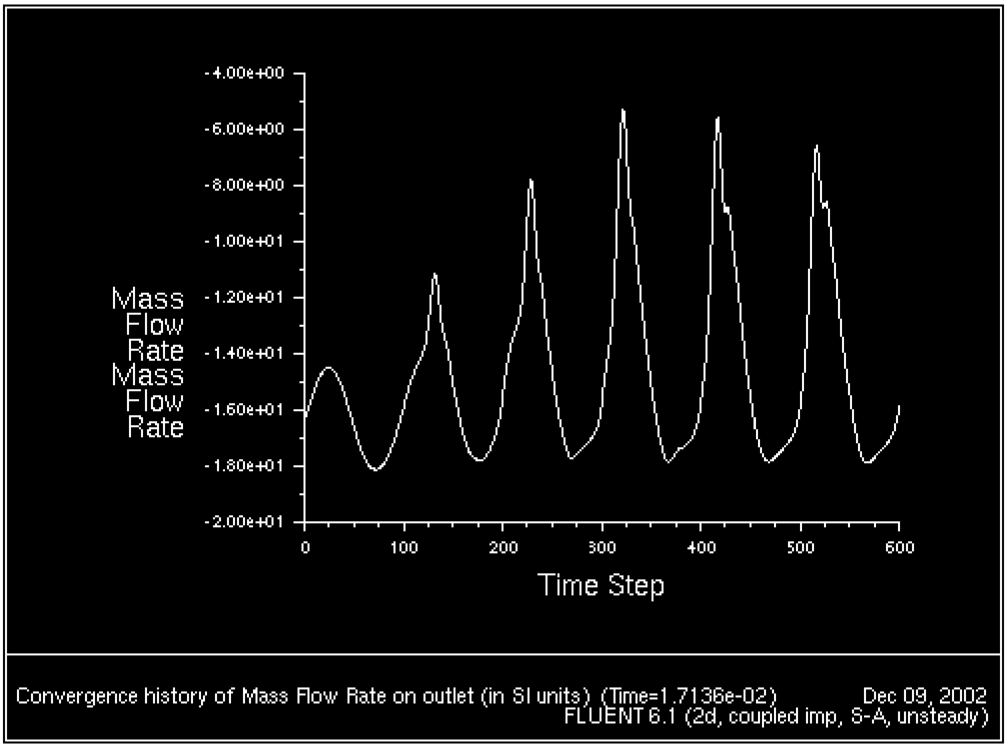


图 4.6　质量流量过程图(非定常流动)

5. 将瞬态解保存在结果文件 noz uns.dat 中

File →Write →Data...

www.myCFD.cn

第 10 步：对非定常流动计算数据的保存和后处理

当求解结果为时间的周期变化时，为了研究在一个压力周期内流动的变化情况，可以在进行 100 次或更多的迭代计算. 可以用 FLUENT 的动画演示功能来显示在每一个时间间隔内的压力和马赫数的变化情况. 可以利用自动保存功能来自动保存每隔 10 个时间间隔的 case 和 data 文件. 在计算完成之后，可以用动画演示功能来观察在此时间间隔内的压力和马赫数的变化情况.

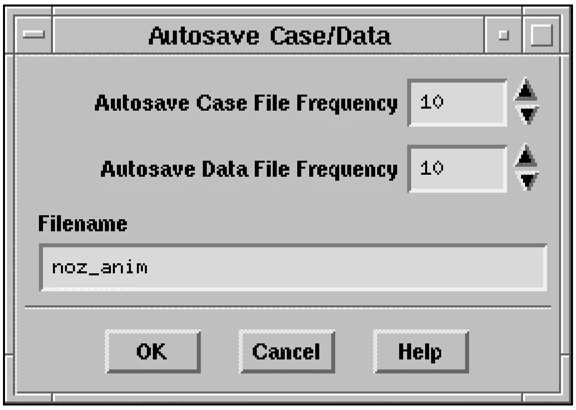
1. 重新保存 case 和 data 文件(每隔 10 个时间间隔保存一次).

File →Write →Autosave...

(a)将 Autosave Case File Frequency 和 Autosave Data File Frequency 设置为 10，

(b) 在 Filename 栏中键入 noz anim

(c) 点击 ok.



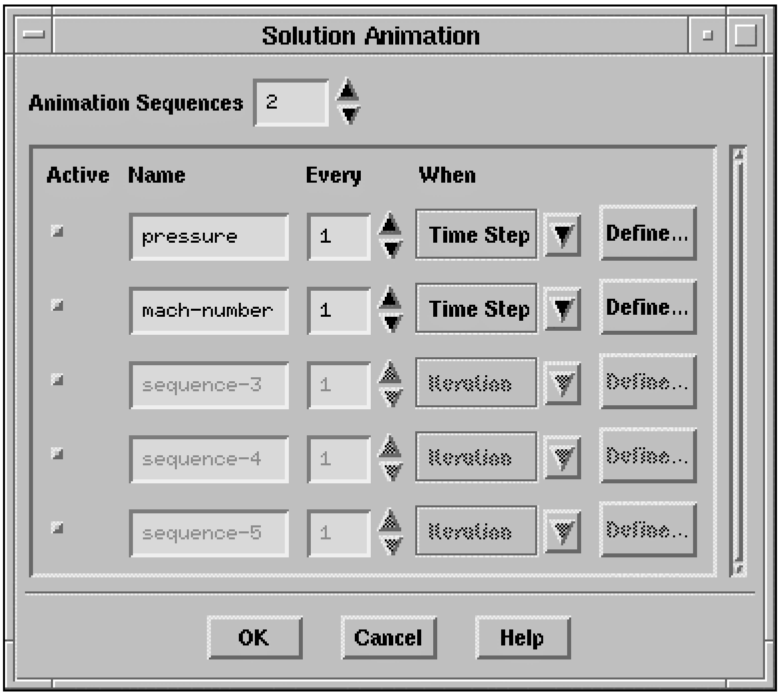
FLUENT 在保存文件时会在文件名前面显示时间值，同时扩展名(.cas 和 dat)也会显示. 比如说 noz anim0640.cas 和 noz anim0640.dat，其中的 0640 表示时间间隔值.

www.myCFD.cn

你也可以在文件名后面加上后缀.gz(比如:noz anim.gz),FLUENT 将会将 case 和 data 文件保存为压缩文件.文件名为:noz anim.cas.gz

2.创建喷管内压力和马赫数的动画播放序列

Solve →Animate →Define...



(a) 将 Animation Sequences 的值设定为 2,

(b) 在 Name 栏下面,第一个序列键入 pressure,第二个序列键入 mach-number

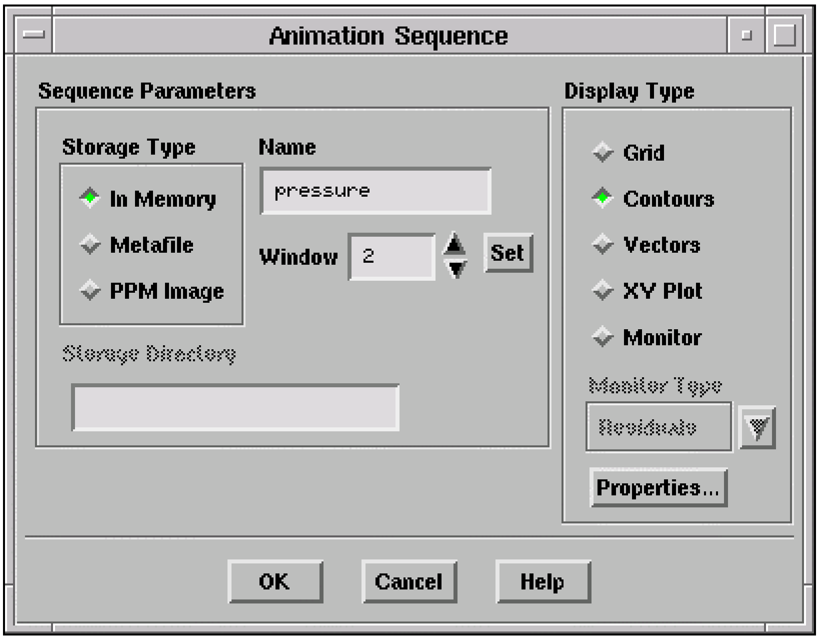
(c) 在 When 的下拉菜单中选择 Time Step.

Every 保留默认值为 1,表明动画播放的频率为一个时间间隔.

3.设置压强变化的动画播放序列

www.myCFD.cn

(a)在 2 的对话框中点击 pressure 右边的 Define... 按钮.这将打开 *Animation Sequence* 对话框:



(b) 在 Storage Type 栏,选择 In Memory.

Memory 是比较适合占用内存较少的 2D 情况的,如果占用内存叫大的 2D 或是 3D 情况,保存文件时应该选择 *Metafile* 和 *PPM Image*,这样可以避免占用过多的计算机内存.

(c)将 Window 后面的值设置为 2,然后点击 Set

(d) 在 Display Type 栏中选择 Contours,这时 *Contours* 菜单打开:

i.在 Contours of 项下面,保留 Pressure...和 Static Pressure 两项

ii.在 Options 菜单中选择 Filled,同时关闭 Auto Range.

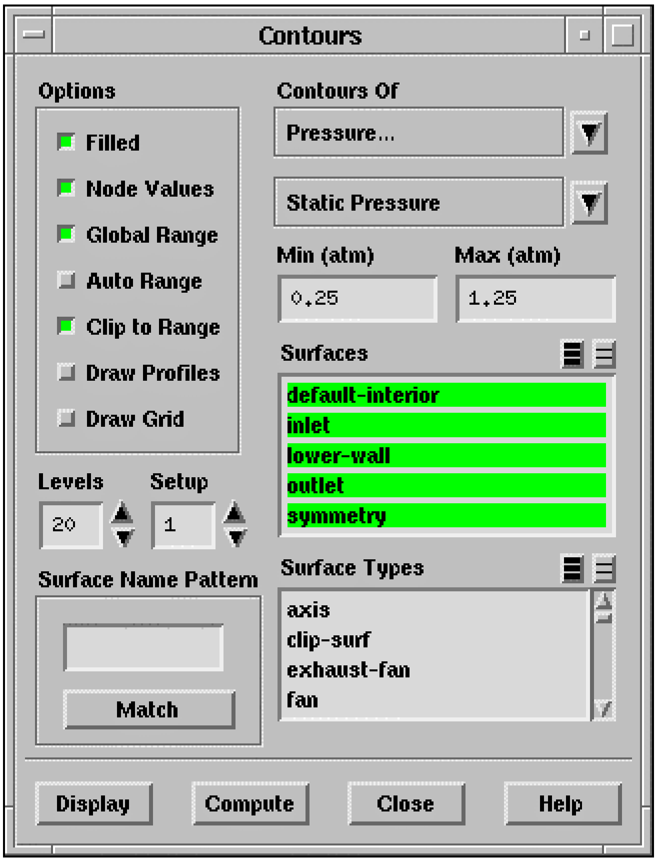
iii.在 Min 栏中键入 0.25,在 Max 栏中键入 1.25.

这是设置压力的范围

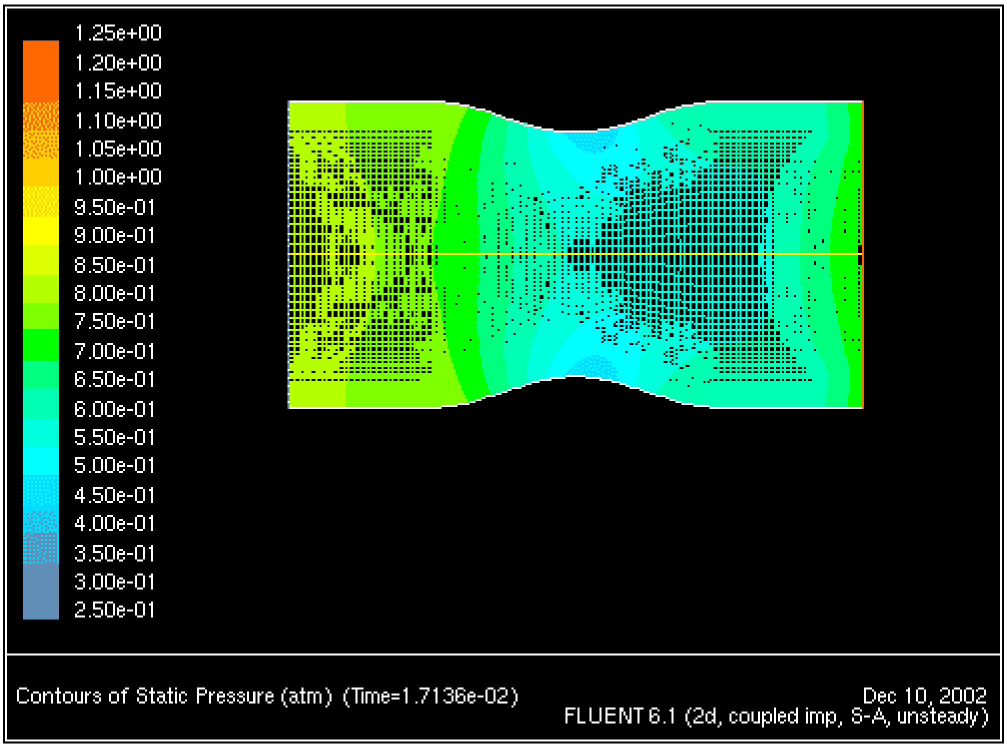
www.myCFD.cn

iv. 在 Surfaces 栏中，选中所有的面.

v. 点击后 Display，　显示如图 4.7 为经过 600 个时间间隔后喷管内的压力分布图：



www.myCFD.cn



(e) 在 Animation Sequence 对话框中点击 ok.

4. 定义马赫数的动画序列

(a) 在 Solution Animation 对话框中点击 mach-number 右边的 Define...按钮,对 mach-number 的播放序列的参数进行设置

(b) 在 Animation Sequence 对话框中的 Storage Type 中,选择 In Memory

(c)将 Window 设置为 3,然后点击 Set.

第三个图形窗口将会打开

(d)在 Display Type 栏下选择 Contours.

i. 在 Contours 对话框中， 选择 Velocity...和 Mach Number 两项.

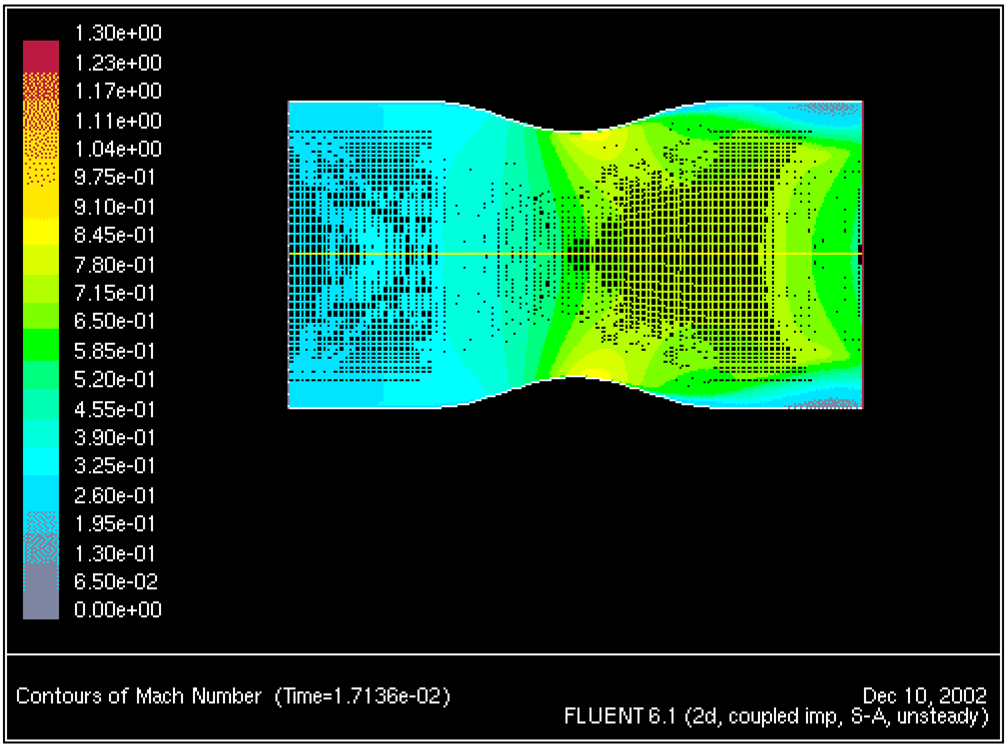
ii. 在 Options 选项中,选中 Filled,关闭 Auto Range.

www.myCFD.cn

iii. 在 Min 中键入 0.00, 在 Max 中键入 1.30

iv. 在 Surfaces 菜单中, 选中所有的面.

v. 点击 Display, 如图 4.8 所示为经过 600 个时间间隔后喷管内的马赫数分布图:



(e) 在 Animation Sequence 对话框中点击 ok

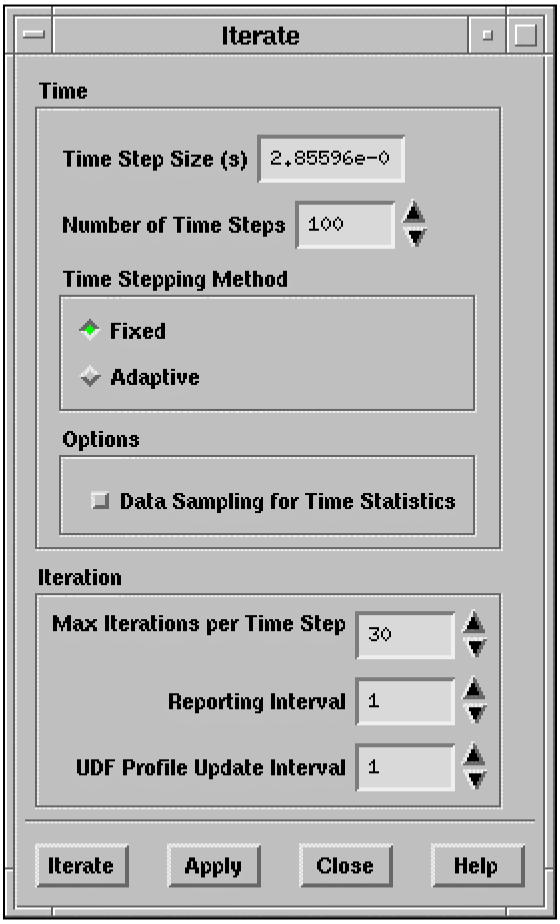
(f) 在 Solution Animation 对话框中点击 ok.

5. 增加 100 个时间间隔, 继续进行计算

www.myCFD.cn

增加 100 个时间间隔意味着使求解时间增加了 0.0028 秒，也就是一个压力变化周期. 因为有自动保存动画文件设置(前面已经设置），每隔 0.00028 将自动保存一次 case、data 和动画文件.

Solve →Iterate...



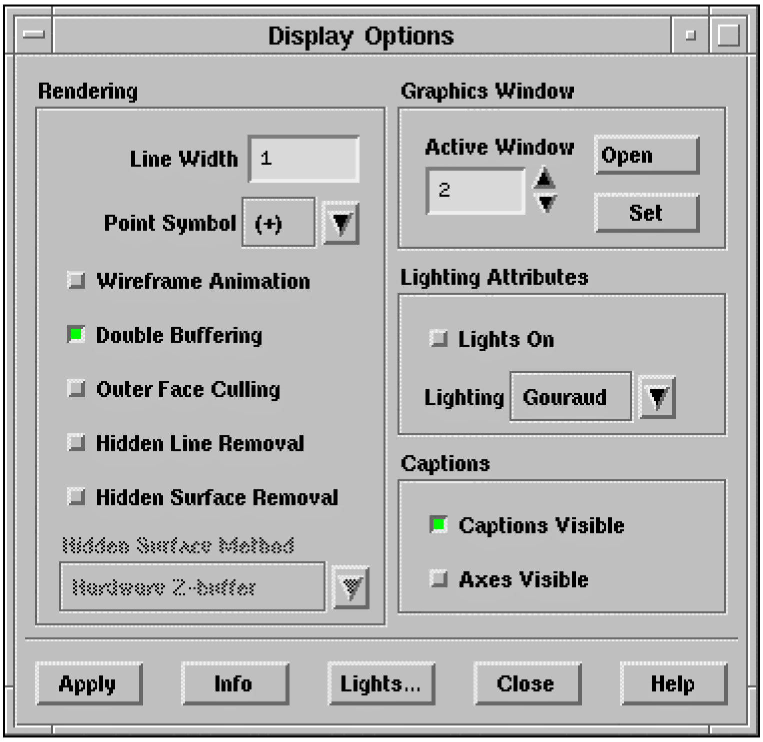
在计算完成之后，因该有 10 对 case 和 data 文件，有 100 对曲线图存在内存中. 在后面，将读入几个时间间隔内的 case 和 data 文件进行动画演示，并且检查其结果.

www.myCFD.cn

6. 改变显示方式(比如双缓冲等)

双缓冲方式允许在动画演示的过程中进行修正,会使曲线更光滑

Display →Options...



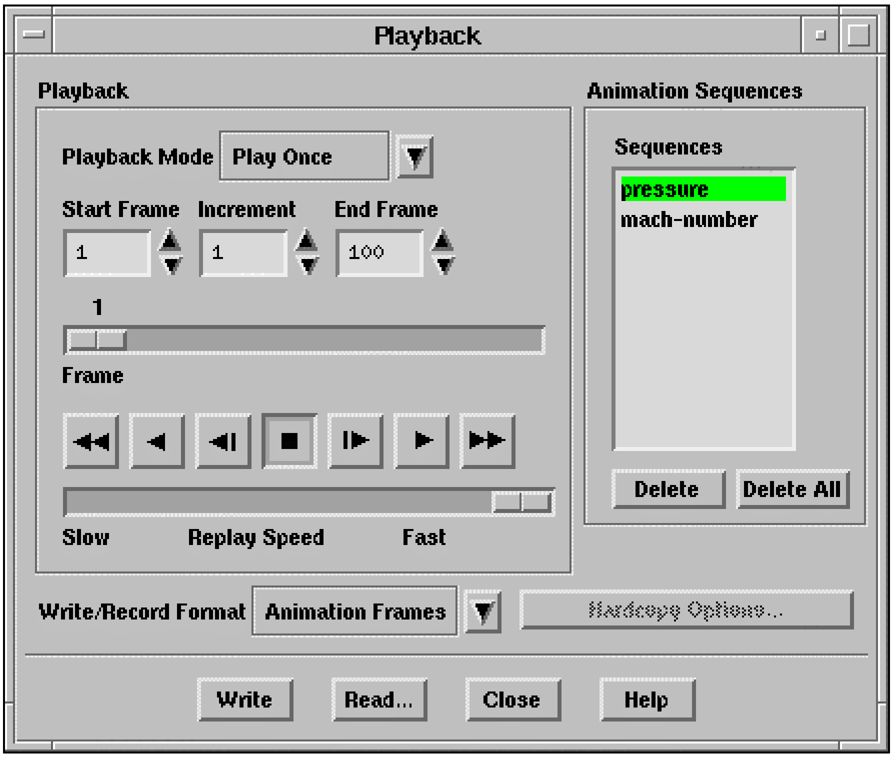
(a) 在 Rendering Options 下面选择 Double Buffering

(b) 点击 Apply.

7. 演示等压线的动画过程

Solve →Animate →Playback...

www.myCFD.cn



(a)在 Sequences 栏中选择 pressure.

演示控制按钮现在被激活

（b）保留其它默认设置，点击播放面板上的播放按钮（Playback 下面的右边第二个）

例如在 t=0.01799 秒（第 630 个时间间隔）和 t=0.0191 秒（第 670 个时间间隔时的等压线图分别如下图 4.9 和图 4.10

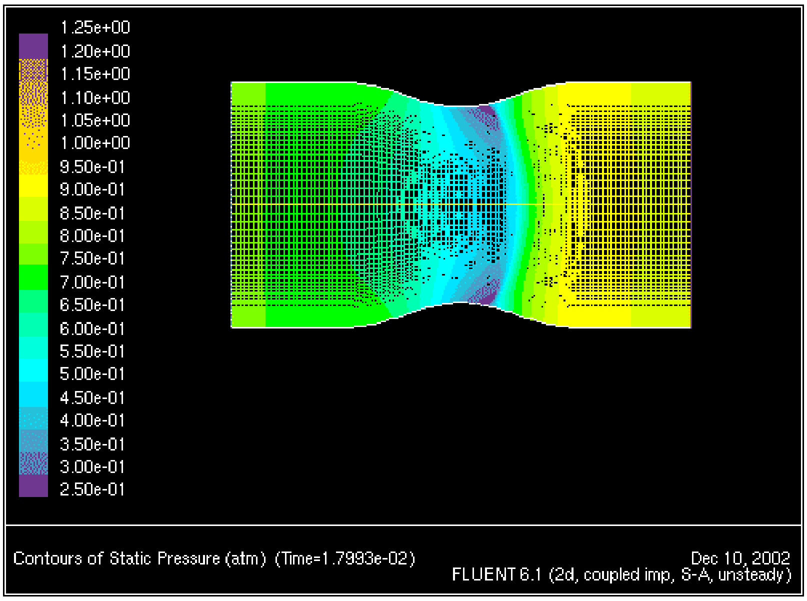


图 4.9 t=0.01799 秒时的等压线曲线

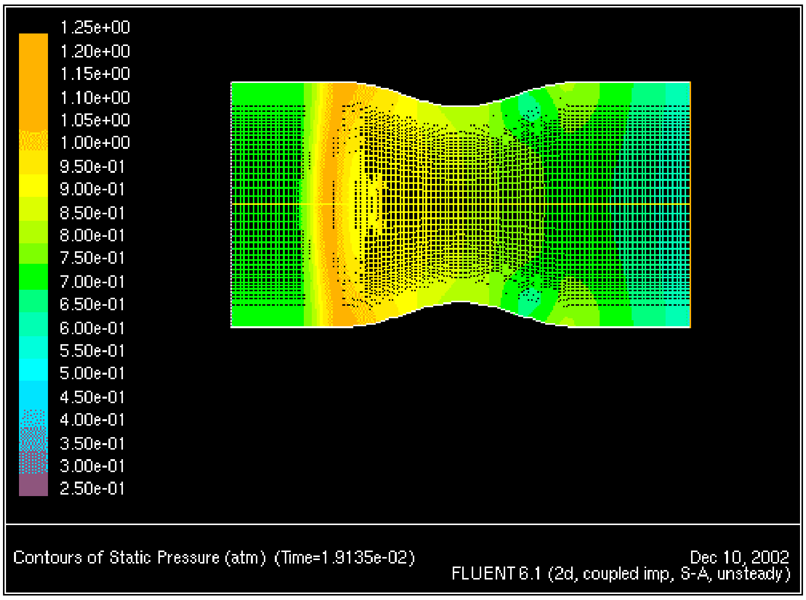


图 4.10 t=0.0191 秒时的等压线曲线图

www.myCFD.cn

8. 重复 6 和 7，并选择适当的播放窗口和马赫数曲线。

例如，取在 t=0.01799 秒和 t=0.0191 秒时的图如下图 4.11 和 4.12

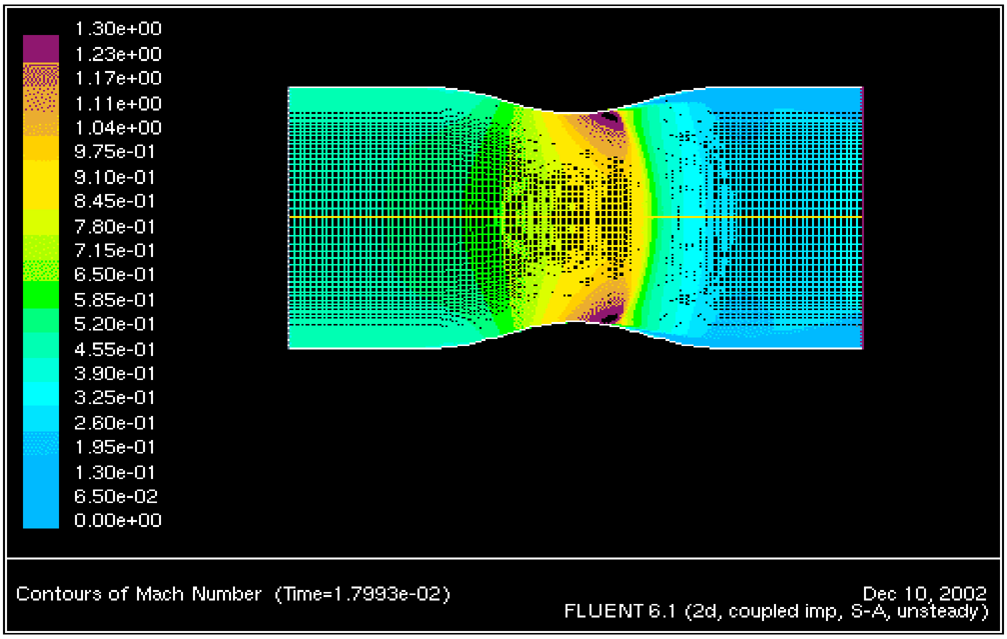


图 4.11 t=0.01799 秒时的马赫数曲线

www.myCFD.cn

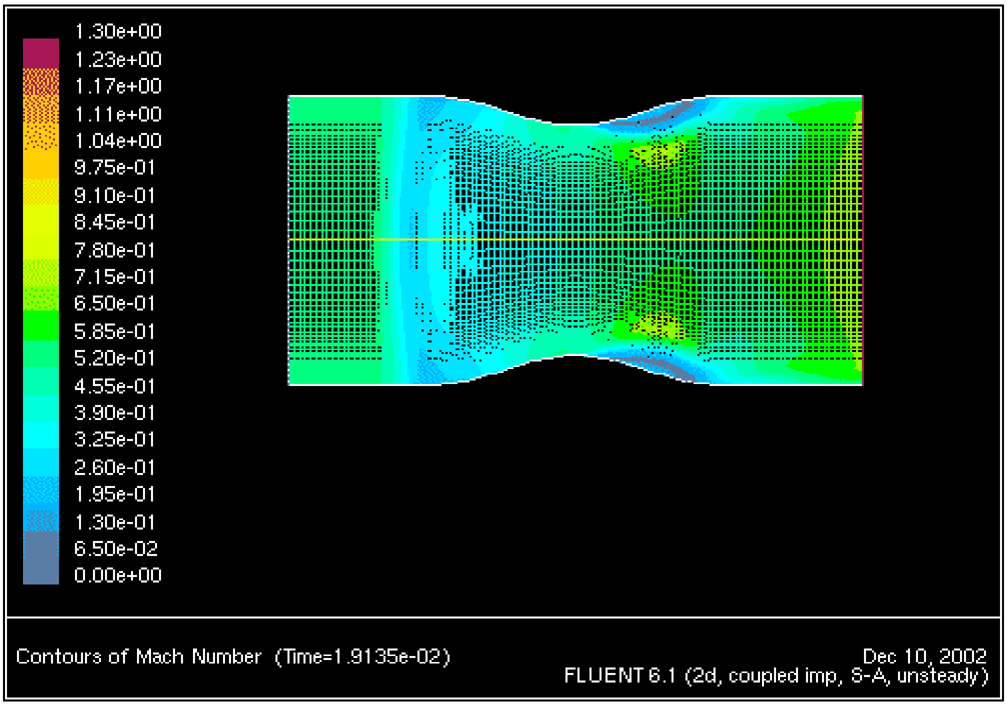


图 4.12 t=0.0191 秒时的马赫数曲线

特别的:

FLUENT 可以输出动画为 MPEG 格式的文件或者是任何一种在 *Graphics Hardcopy* 中能够阅读的硬拷贝格式文件（包括 TIFF 和 PostScript）.

要保存为 MPEG 格式时,在 *Playback* 对话框中的 *Write/Record Format* 下拉菜单中选择 *MPEG*,然后点击 *Write* 按钮. *MPEG 格式*文件就被保存在了工作文件夹中.可以通过 mpeg 播放器来播放 mpeg 文件(比如 *Windows Media Player* 或是其它的 mpeg 播放器).

要保存为一连串的 *TIFF*, *PostScript* 或是其它的硬拷贝文件时,在在 *Playback* 对话框中的 *Write/Record Format* 下拉菜单中选择 *Hardcopy Frames*.点击 *Hardcopy Options...*按钮打开 *Graphics Hardcopy* 对话框,设置适当的保存硬拷贝文件的参数,然后点击 *Graphics Hardcopy* 中的 *Apply* 按钮保存以

www.myCFD.cn

上设置.在 *Playback* 对话框中点击 *Write* 按钮.FLUENT 将会重新播放动画,把分开后的每一个文件保存到工作目录下.

如果想在 FLUENT 完成以后察看结果动画,可以像选择 *Write/Record Format* 时一样选择 *Animation Frames*,然后点击 *Write* 按钮.

注意:这些动画储存在内存中,在退出 FLUENT 时如果没有保存为以上所讲的某一种格式文件,则很容易丢失.记住,只有动画格式的文件才能在 FLUENT 的后处理时的 playback 面板中播放.

9.显示 60 个时间间隔后的速度矢量(图 4.13)

(a) 将第 660 个时间间隔时的 case 和 data 文件(noz_anim0660.cas and noz_anim0660.dat)读入到 FLUENT 中.

File →Read →Case & Data...

(b) t=0.01885 秒时的向量

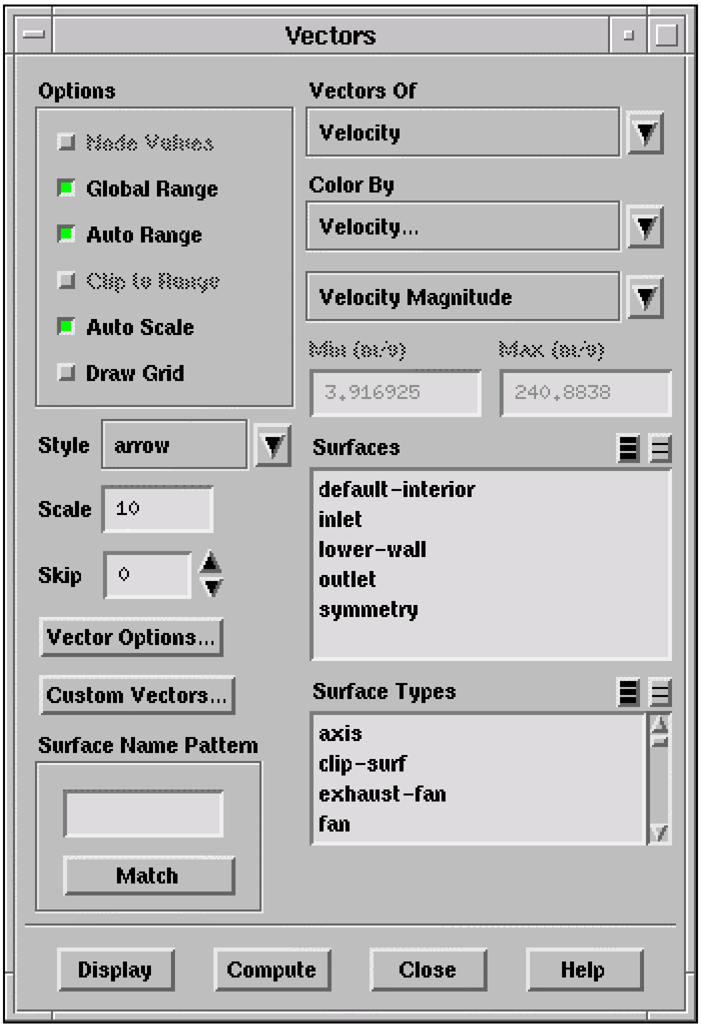
Display →Vectors...

i.将 Scale 值改为 10,

ii.点击 Display.

在非定常流动喷管中在 t=0.01885 秒时的最高速度为 241m/s.

www.myCFD.cn



10. 如果有兴趣，可以重复第 9 步，将 case 和 data 文件保存为其它的格式.

www.myCFD.cn

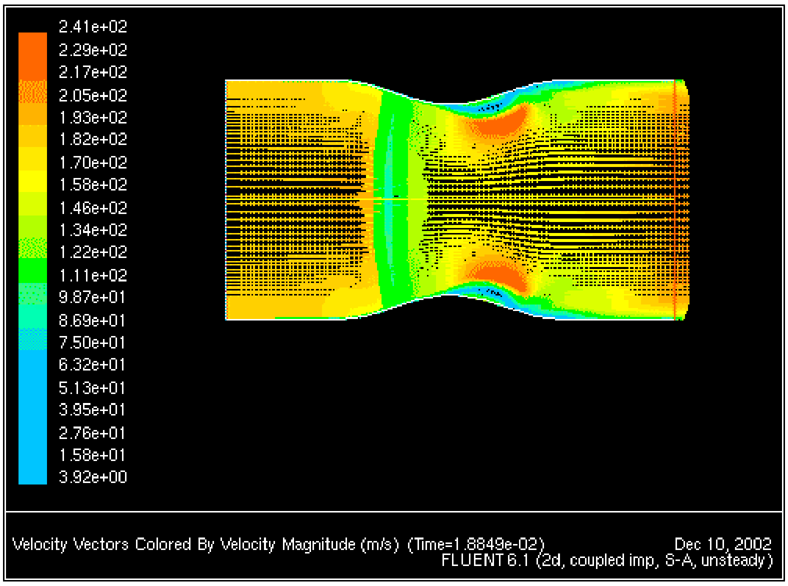


图 4.13 t=0.01885 时的速度矢量图

概要

这个算例模拟了空气通过喷管时的瞬态流动情况.通过本例要学会如何在初始条件为非定常流动时将其作为定常流动来进行模拟,如何设置隐式时间间隔的解算参数.

还应该学会运用已保存的文件来不定常流进行后处理,用文件的自动保存功能来保存瞬态解算过程中的结果信息.

最后,还要学会如何运用FLUENT解算器中的动画功能来创建过渡动画文件,如何运用 playback 来播放观察动画.

www.myCFD.cn

算例 5 辐射与自然对流模拟

引言

在这个算例中，将会解决二维方箱中的辐射与自然对流相结合的问题，网格采用四边形单元网格。

在这个算例中将会学到以下知识点：

1.应用 Fluent 中各种辐射模型 Rosseland, P-1, DTRM, 离散坐标模型(DO), 和 surface-to-surface (S2S)，并理解各个模型的适用范围。

2.使用 Boussinesq model 定义密度；

3.设定辐射与自然对流传热问题的边界条件；

4.将单一的墙划分为多个墙区域；

5.对已有的流体物性进行修改；

6.用隔离求解器求解；

7.显示速度矢量和流函数等值线，以及温度等值线；

前提条件

本指南是在你熟悉掌握 Fluent 的菜单操作，并且已经熟练进行指南 1 练习的基础上继续的，有些步骤和操作过程将不会在以下内容中详细介绍。

问题描述

将被考虑的问题如图 5.1 所示，一个边长为 L 的正方形箱体，右墙温度为 2000K,左墙温度为 1000K,上下墙绝热，重力向下，由于热重引起密度梯度所以发展为浮力流。箱体中的介质被认为是有吸收性和散射性的，因此墙壁间的辐射交换因存在吸收被减弱，同时也因为介质的散射作用而增强了。所有墙壁被认为是黑体，目的在于应用有效的辐射模型计算箱体中流场和温度场分布，以及墙壁的热流量，并且对于不同光学深度 aL 比较

所表现出的特性。

www.myCFD.cn

工质普朗特数大约为 0.71，基于 L 的雷诺数为 500000，这说明流动相当于层状流动，应用 Boussinesq 假设来模拟浮力流动。普朗克数 $k/(4\sigma L T_0^3)$ 为 0.02，用于考虑传导与辐射的相对重要性，其中，$T_0 = (T_h + T_c)/2$。在这个算例中将有三种 optical thickness 的情况会被考虑到，分别是 aL=0, aL=0.2, and aL=5。

注意：物理属性和工作条件（重力加速度）都已经给定以适合于产生的想要的普朗特数，雷诺数和普朗克数。如下图所示：

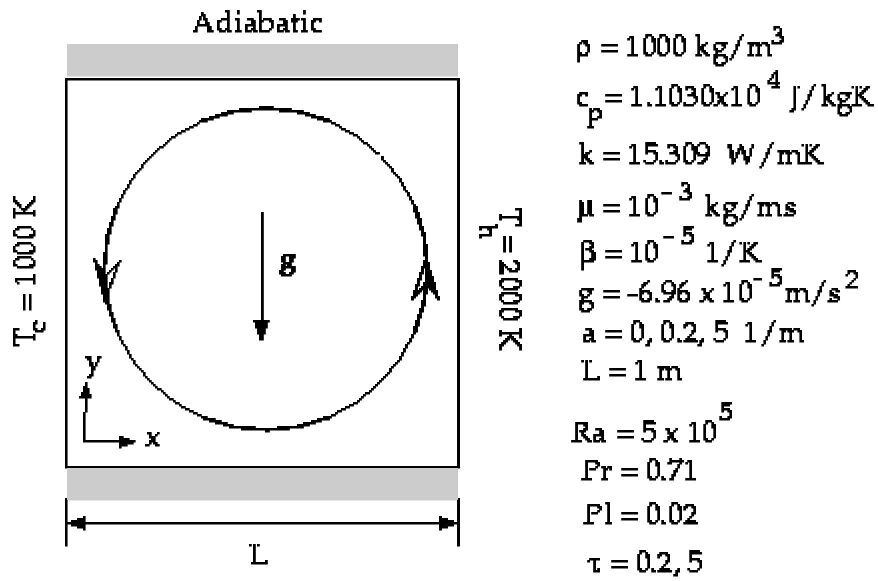


图 5.1：问题描述

准备工作

1. 将网格文件 rad/rad.msh 拷至 fluent 的工作目录下（就像在指南 1 中描述的一样）；
2. 起动 fluent 的二维单精度解算器。

www.myCFD.cn

第 1 步： 网格

1. 读取网格文件 rad.msh.。

   File →Read →Case...

   当网格读入的时候，在 Fluent 控制窗口会显示相应的信息，会报告网格有 2500 个单元。

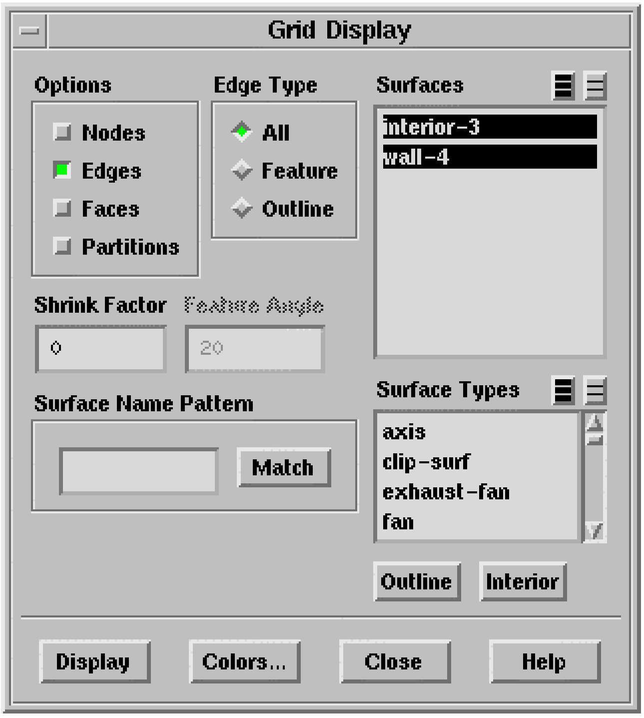
2. 检查网格质量。

   Grid →Check

   Fluent 会对网格进行各种各样的检查，并会在控制窗口显示信息。特别注意最小体积，确保它是正数值。

3. 显示出网格（如图 5.2）。

   Display →Grid...



www.myCFD.cn

注意：此时所有的墙体为一个整体，***wall-4***。下面需要将其分成四个独立的区域，才能对不同的区域定义不同的边界条件。

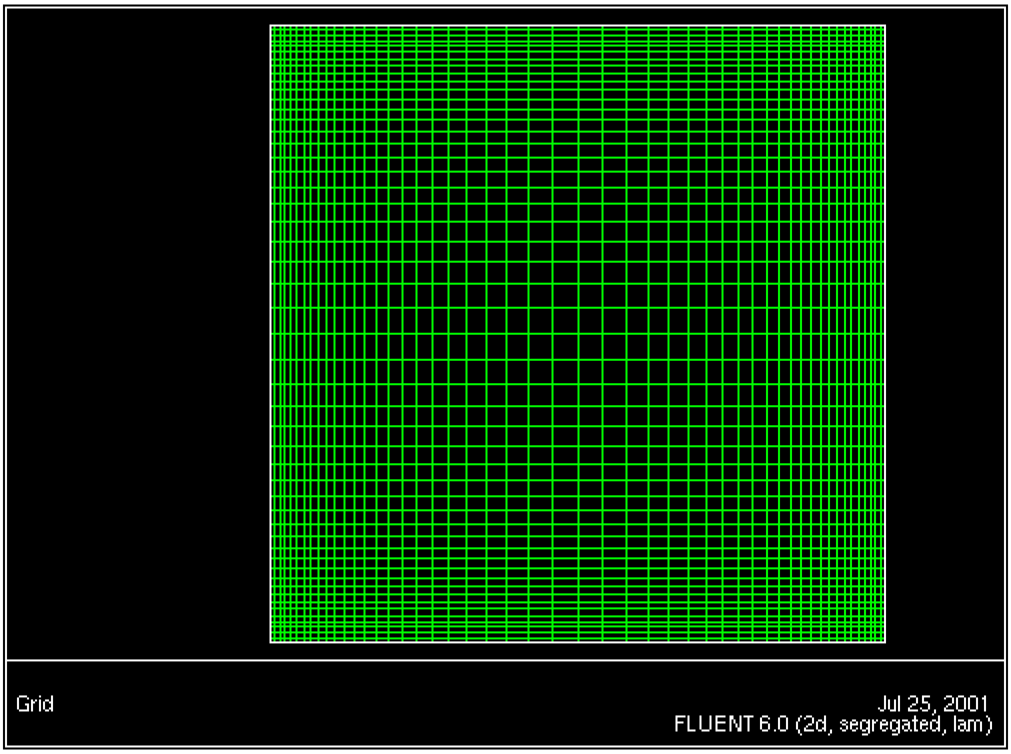
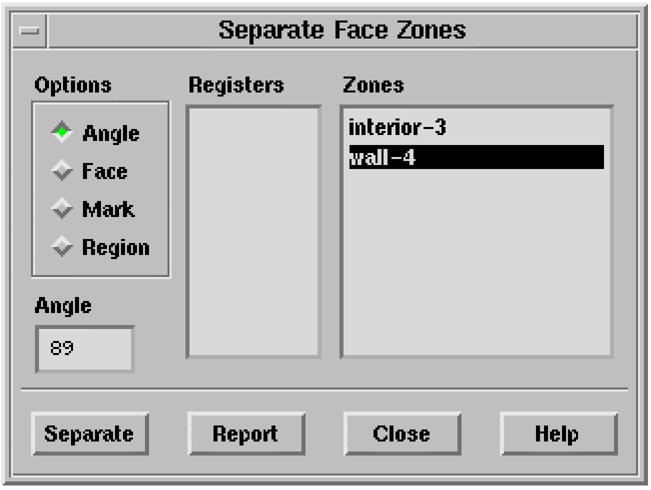


图 5.2：网格显示

4. 将单一的墙分为四部分。

Grid →Separate →Faces...

www.myCFD.cn



（a） 在 **Options**.下选择 **Angle** 的分离方法；

（b） 在 **Zones** 列表下选择 **wall-4**；

（c） 定义角度值 89 度。

（d） 单击 **Separate**。

带法向矢量的面在被 89 度分隔后会成为单独的区域，既然四个墙的区域是正交的，**wall-4** 就被分为四个独立的区域。

5. 重新显示出网格。

（a） 在 grid display 对话框中选定所有的面后单击 **Display**。

注意：现在有四个不同的墙区域而不是一个。

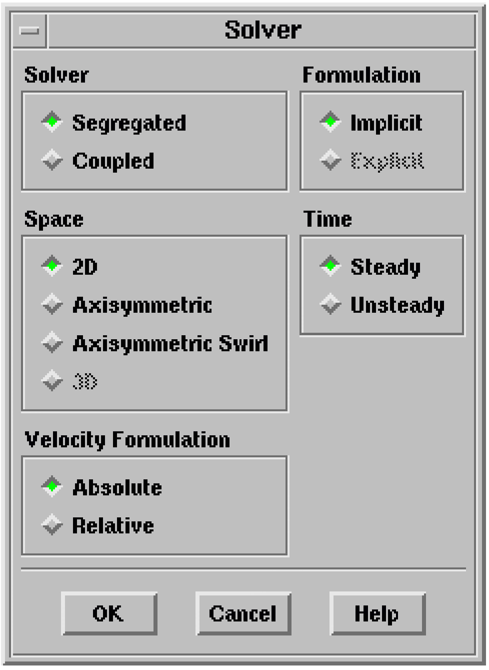
另外：你可以用鼠标右键来验证墙区域名称所对应的墙。在图形窗口中用鼠标右键点击任何一个边界，区域名称，类型都在 Fluent 控制窗口中显示出来。当同一个类型有几个不同区域，而你又需要迅速的区分开来时，这个用途的作用就特别明显。有些时候，可以使内部网格不显示，以便更准确的选择边界。

第 2 步：模型选择

在前面已提到过，在这个算例中将会依次应用各个辐射模型，得到一种解决方案，并且对结果进行后处理。先从 Rosseland model 开始，接着是 the P-1 model，然后是离散传播辐射模型 (DTRM)和离散坐标模型 (DO)，最后是 S2S model。

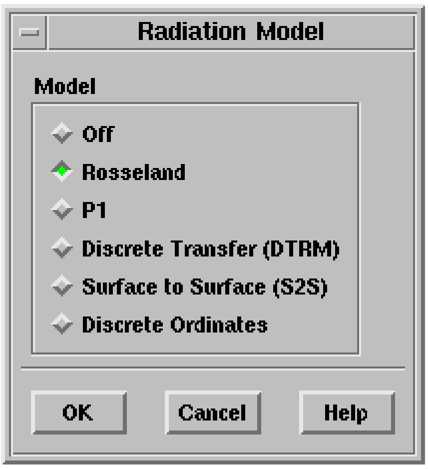
1. 选择默认解算器。

Define →Models →Solver...



2. 打开 Rosseland 辐射模型。

Define →Models →Radiation...



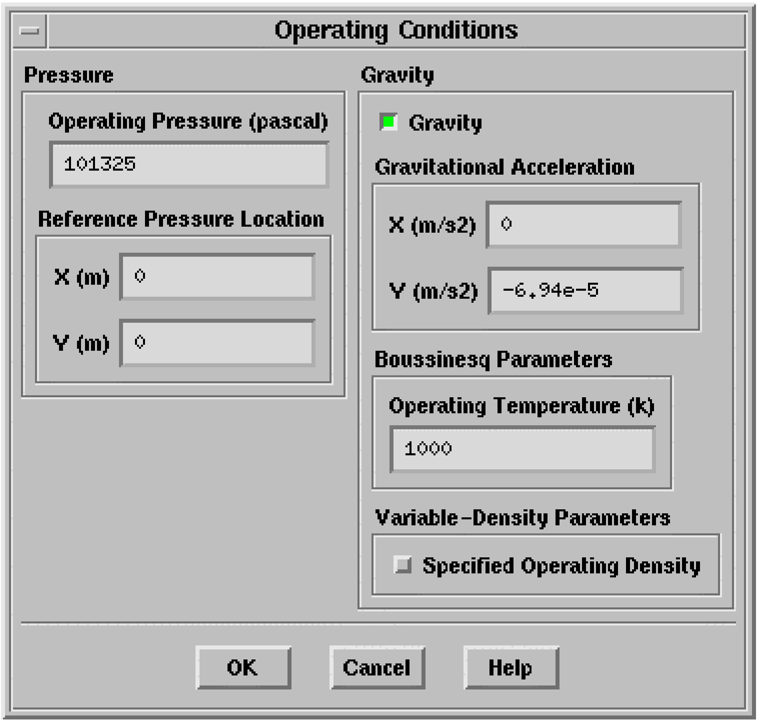
www.myCFD.cn

当你在 Radiation Model 面板上单击 ok 时，会出现一个信息提示框，告诉你新的材料物性被添加了，你将在后面设置物性参数，因此现在只需单击 ok 确认这个信息即可。

注意：当你激活辐射模型时，fluent 会自动打开能量解算器，因此不用另外再激活 Energy 对话框了。

3. 在模型中添加重力影响。

Define →Operating Conditions...



（1） 打开 **Gravity**.。

面板会自动扩展，显示所要额外的输入值。

（2） 设置 y 方向的 **Gravitational Acceleration** 值为-6. 94e-5 m/s ^{2}.

上文中提到过，重力加速度调整到产生合适的无因次数（普朗特数，雷诺数和普朗克数），见图 5.1 及相关的说明。

（3） 设置工作温度为 1000k.

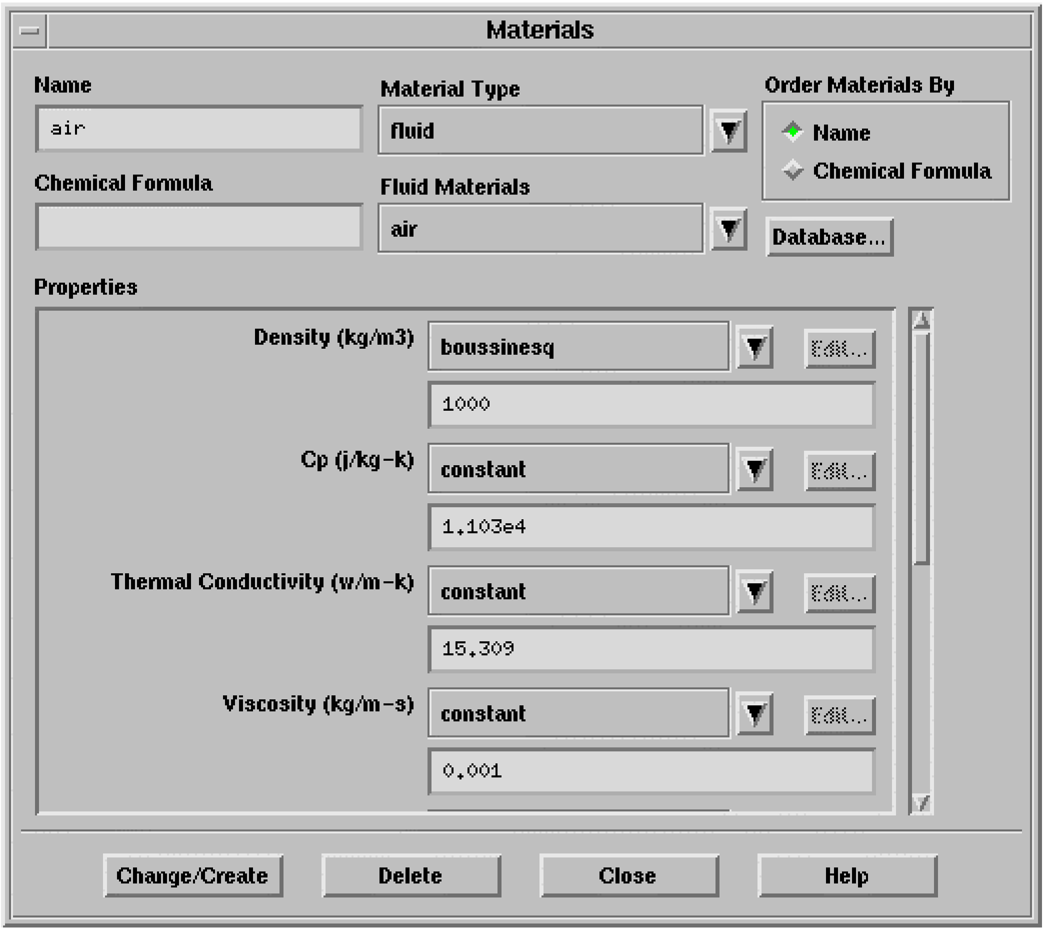
在下一步要激活的 the Boussinesq model 中将会用到工作温度值。

www.myCFD.cn

第 3 步： 材料物性

默认的流体材料为空气，在此次要解决的问题中工作介质也正是空气。但却是假想的流动，使各个物性都适合于给出特定的无因次数，因此必须对默认的空气参数进行修改。应用光学深度 aL=0.2 进行计算。（假设 L=1，吸收系数则应设为 0.2 ）。在后面，aL=5 或者无光学介质（aL=0）时，计算得到的结果将会用来比较不同的光学介质对于的辐射模型的不同。

Define →Materials...



1. 在 **Density** 下拉框中选择 **boussinesq**，并设定密度值为 1000kg/m^3; 关于 **boussinesq** 模型的详细内容请看 *User's Guide*。

2. 设置比热容，**Cp**=1. 103e4 J/kg-K.
3. 设置导热系数为 15. 309 W/m-K.;
4. 设置粘度为 0. 001 kg/m-s.;
5. 设置吸收系数为 0. 2 m^{-1}.;

提示：通过滚动条使先前面板中不可见的物性显示出来。

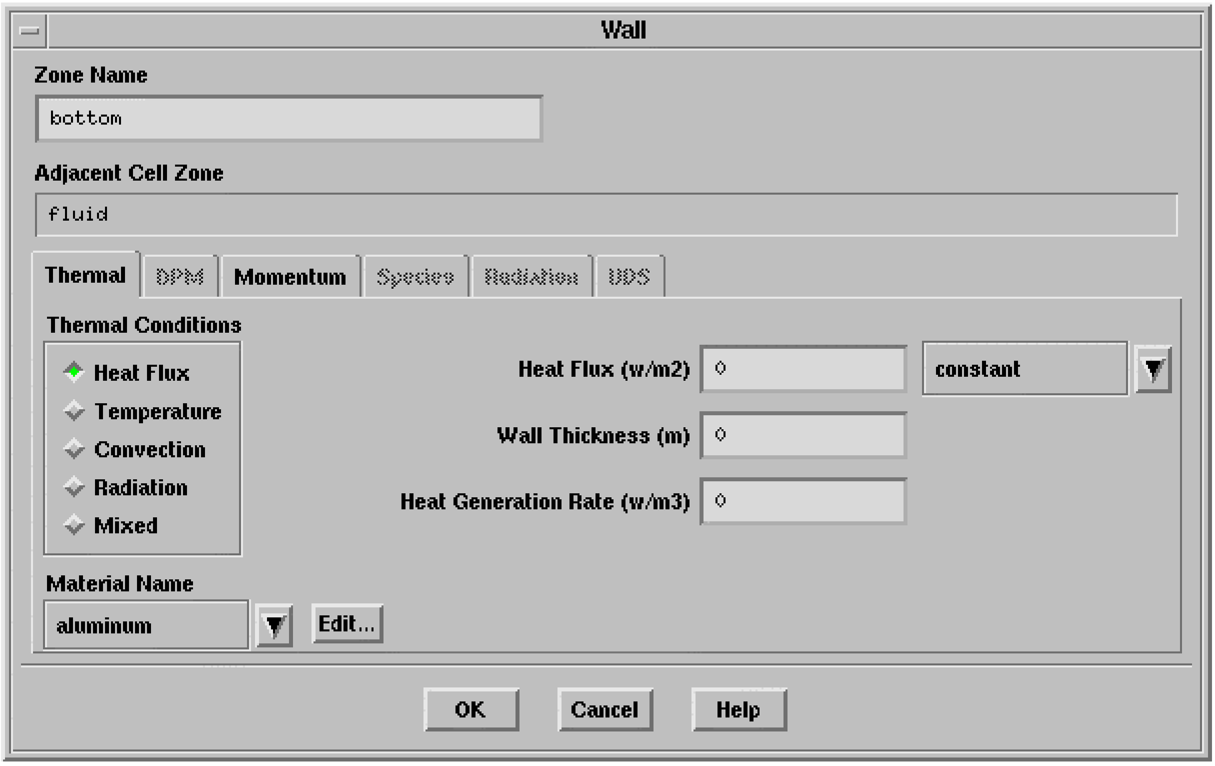
6. 在 **Scattering Coefficient** 和 **Scattering Phase Function** 中保持默认值，在要解决的问题中不涉及到散射问题;
7. 设定热扩散系数（用 **boussinesq** 模型时）为 1e-5K^{-1}。
8. 单击 **Change/Create**，关闭 **Materials** 面板。

第 4 步： 边界条件

Define →Boundary Conditions...

1. 对底部的墙设置边界条件（**wall-4.006**).

注意：如果不能确定 **wall-4.006** 对应的是否为底墙，可以用鼠标右键在图形窗口中单击底墙，在边界条件面板中 Zone 列表中会自动显示相应区域的名称。在设定其
它墙的边界条件时也可以这样做，一定要保证设定正确的边界条件。



（1）将 **Zone Name** 改为 bottom.;

（2）对于绝热墙，保持默认设置热边界条件。（heat flux=0）

注意：Rosseland model 模型不需要设定墙的发射率，对于其它辐射模型，就需要设定墙的发射率。

2.对左墙设置边界条件（**wall-4**）

（1）.将 **Zone Name** 改名为 left.

（2）在 **Thermal Conditions** 下选择 **Temperature**，并设置温度值为 1000k;

3.对右墙设置边界条件（**wall-4:007**.）

（1）将 **Zone Name** 改名为 right;

（2）在 **Thermal Conditions** 下选择 **Temperature**，并设置温度值为 2000k;

4.对顶墙设置边界条件（**wall-4:005**）；

（1）将 **Zone Name** 改名为 top;

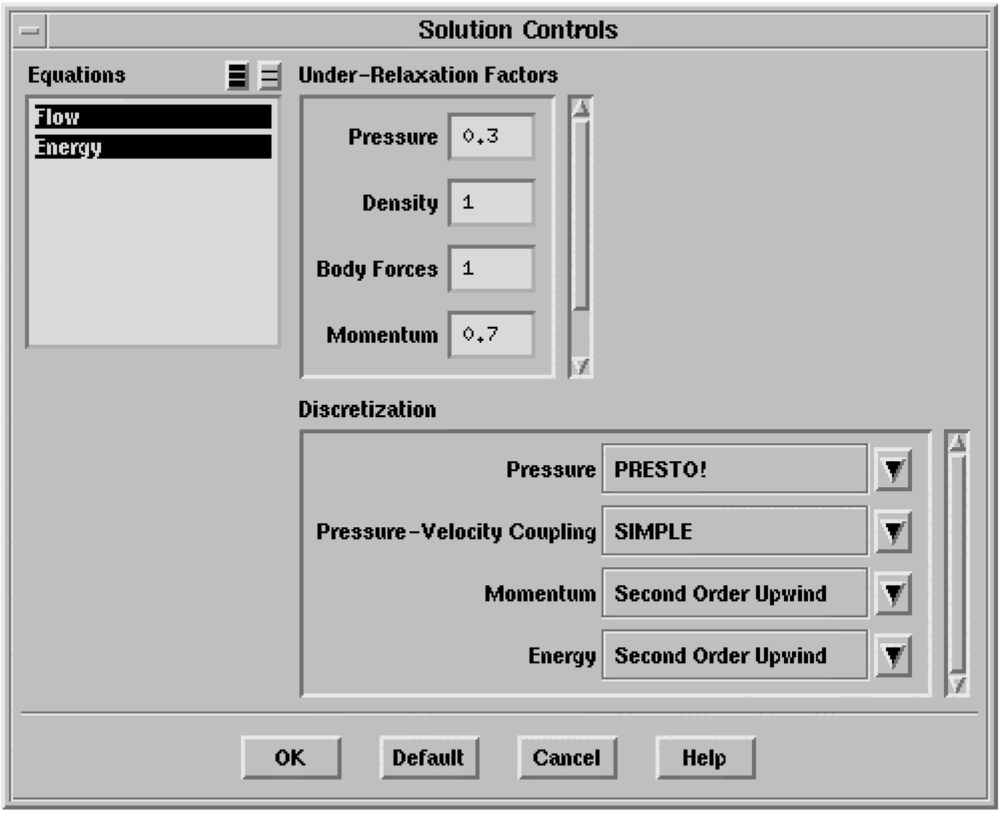
（2）对于绝热墙，保持默认设置的热边界条件（heat flux=0）。

www.myCFD.cn

第 5 步： Rosseland 模型求解

1. 为控制解设置参数

Solve →Controls →Solution...



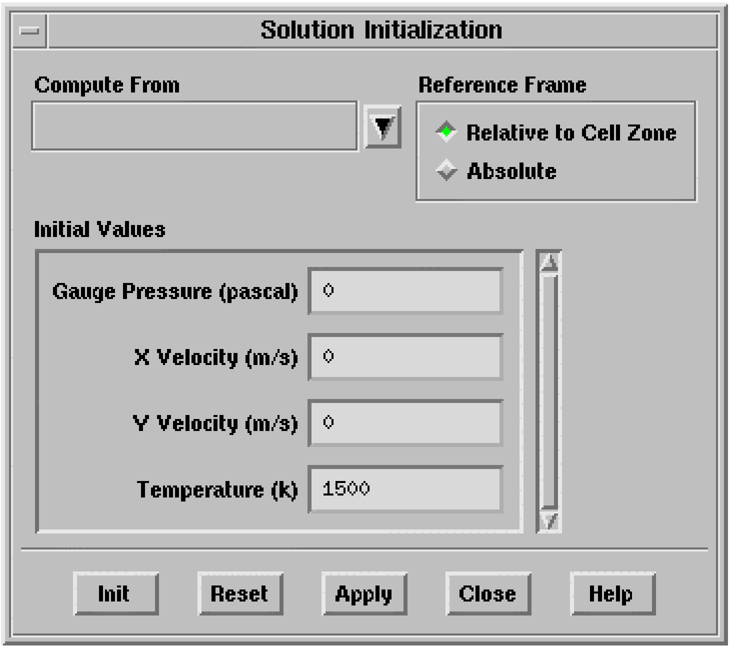
（1） 在 **Equations** 和 **Under-Relaxation Factors**.下，保持默认值。

（2） 在 **Discretization** 下，**Pressure** 选择 **PRESTO!**，**Momentum** and **Energy** 选 **Second Order Upwind**。

2.流场初始化

Solve →Initialize →Initialize...

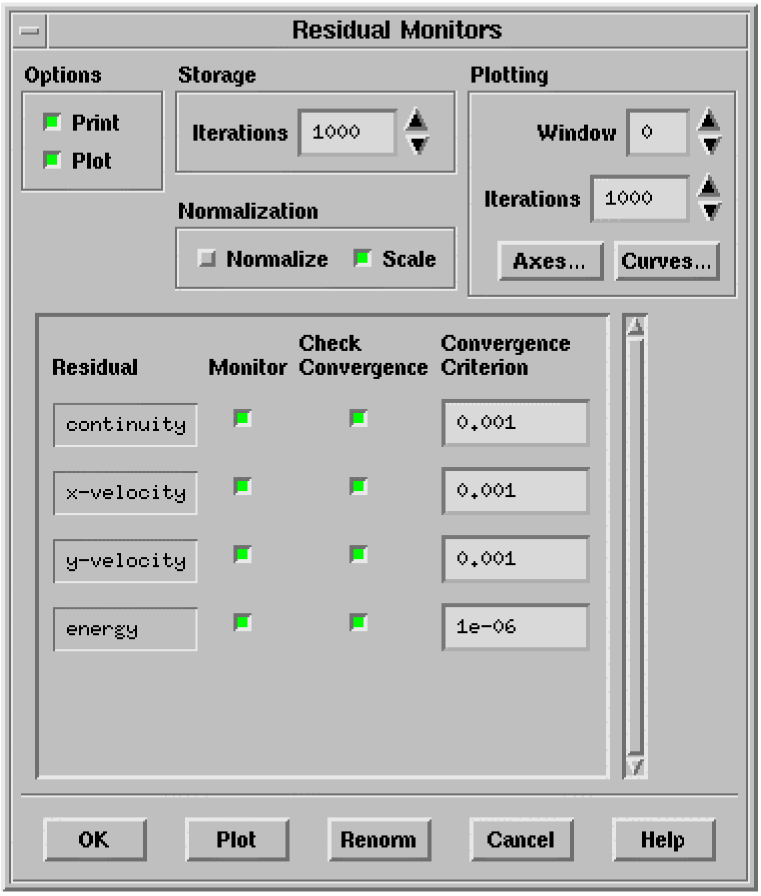
www.myCFD.cn



（1）将温度设置为 1500k,单击 **Init**.

3.计算时，激活残差曲线显示。

Solve →Monitors →Residual...



（1） 在 **Options** 下，选 **Plot**.

（2） 单击 ok。

注意：Rosseland model 不能解决额外的辐射热传播方程，因此显示不出残差曲线来。但可以解出能量方程中的导热系数，当使用 the P-1 and DO 模型时，就可以解决辐射输运方程，能显示出辐射残差曲线。

4.保存 case 文件。(rad_ross.cas)

File →Write →Case...

5.开始计算，进行 200 次反复收敛。

Solve →Iterate...

大约在 180 次时计算就会收敛。

6. 保存数据文件（rad_ross.dat).

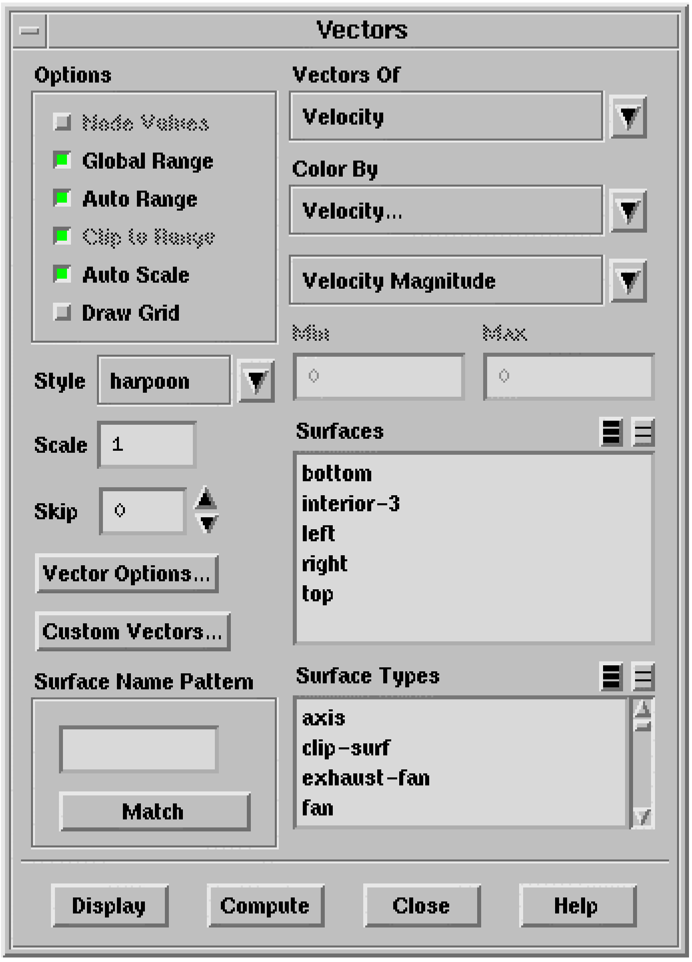
www.myCFD.cn

File →Write →Data...

第 6 步： Rosseland 模型后处理

1. 显示速度矢量（如图 5.3 所示）。

Display →Vectors...



www.myCFD.cn

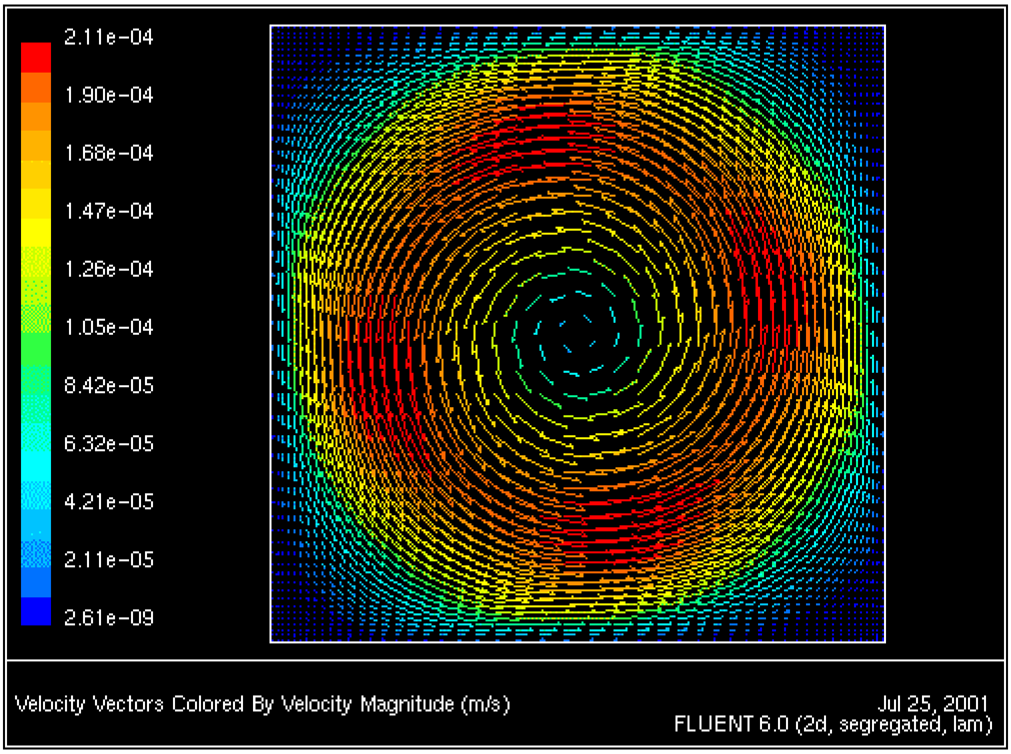
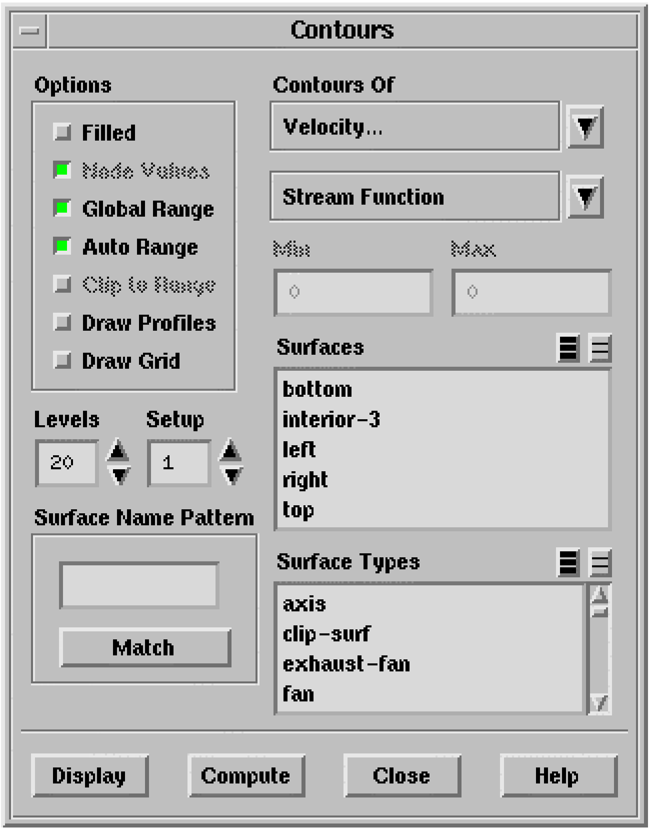


图 5.3： Rosseland 模型的速度矢量

2. 显示流量函数等高线（如图 5.4）。

Display →Contours...

www.myCFD.cn



由于箱内的自然对流的存在，就观察图形中呈现循环模式。在光学厚度(0.2)很小时，辐射不会对流动造成很大影响，得到的流场与没有辐射时相似（如图 5.5）。但 the Rosseland 模型显示的流场很对称（如图 5.4），跟纯粹的自然对流不一样。这个差异的产生主要是因为对较小的光学厚度而言，the Rosseland 模型不是很合适。

www.myCFD.cn

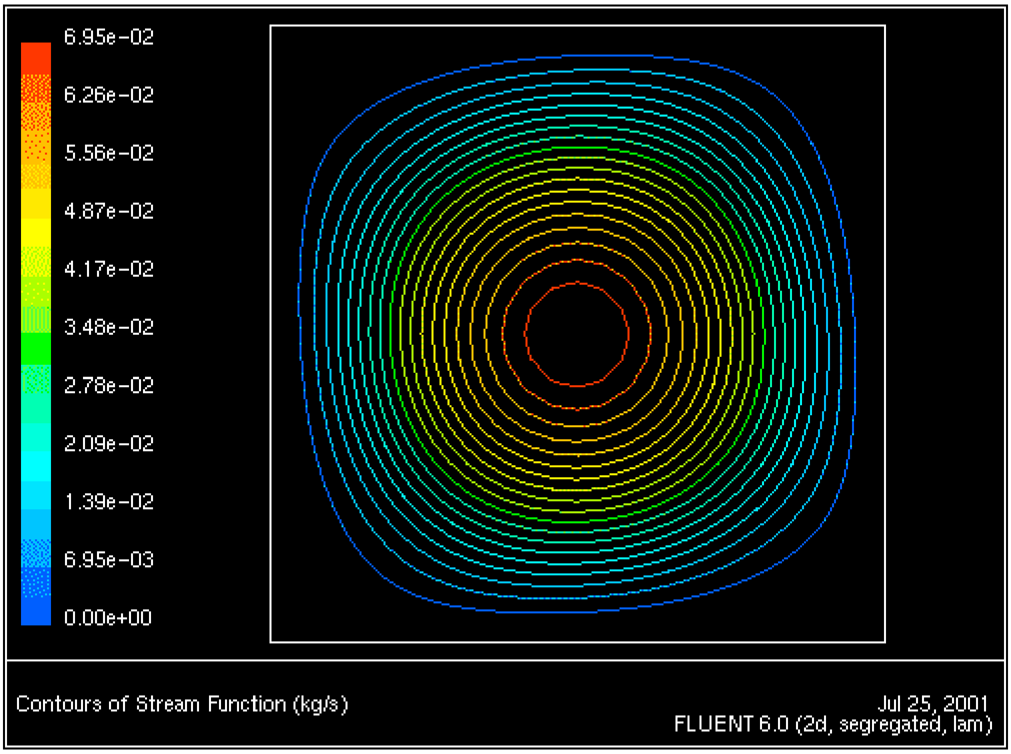


图 5.4： Rosseland 模型的流函数的等势图

另外：

如果你想和没有辐射的情况对比一下，可以在 ***Radiation Model 面板***中关闭所有的辐射模型，并设置能量的松弛因子为 0.8，计算使其收敛。（记住，在进行以下步骤时要将松弛因子改回 1.0）。

www.myCFD.cn

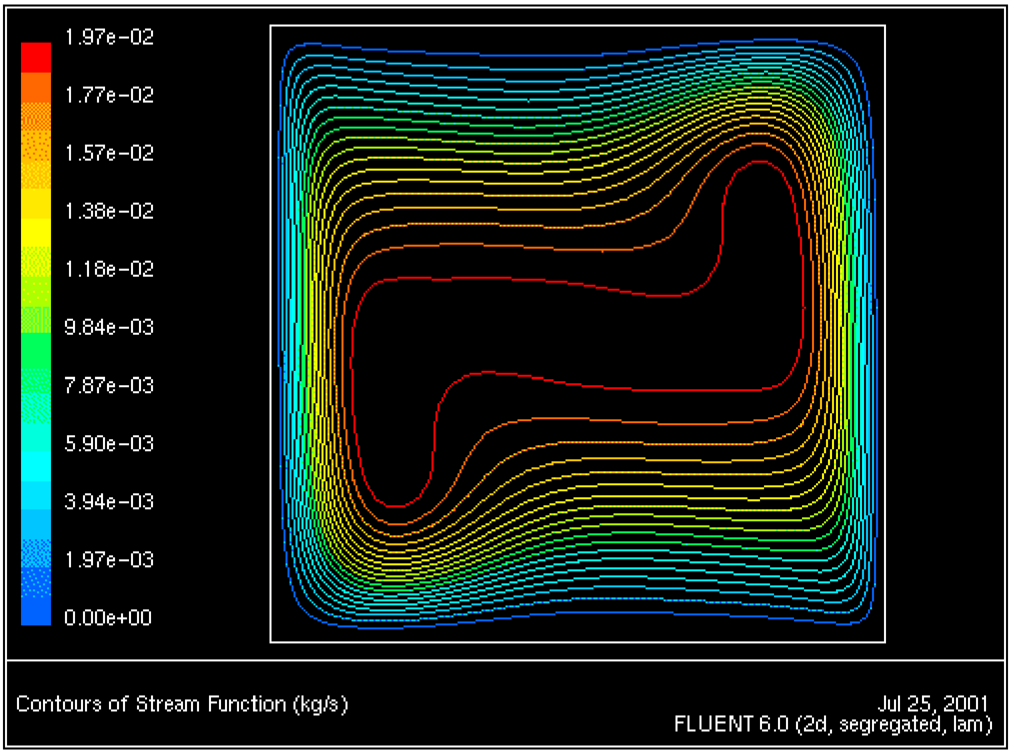
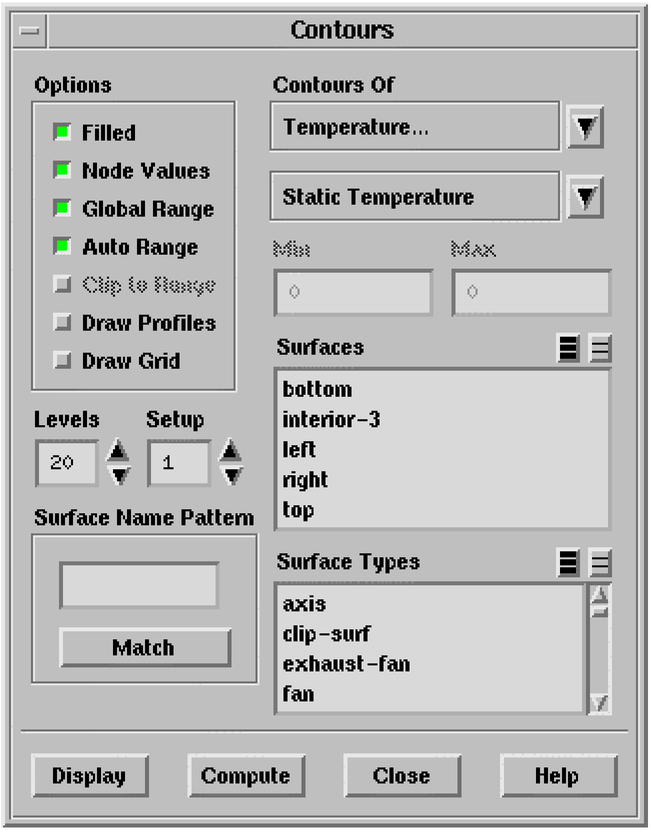


图 5.5：　无辐射时的流函数的等势图

3.　显示温度等势图。

Display　→Contours...


Contours
Options
Filled
Node Values
Global Range
Auto Range
Clip to Range
Draw Profiles
Draw Grid
Contours Of
Temperature...
Static Temperature
Min
Max
0
0
Surfaces
bottom
interior-3
left
right
top
Levels
Setup
20
1
Surface Name Pattern
Match
Surface Types
axis
clip-surf
exhaust-fan
fan
Display
Compute
Close
Help

www.myCFD.cn

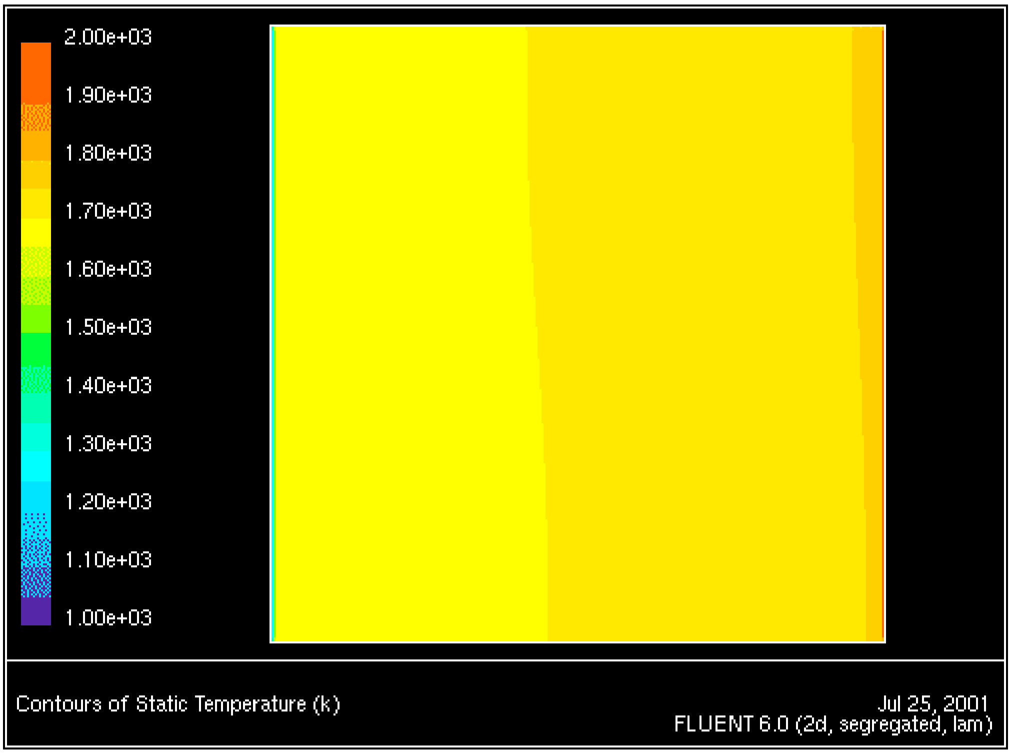


图 5.6： Rosseland 模型的温度的等势图

The Rosseland model 得出的温度场（如图 5.6 所示）与没有辐射时得到的温度场（如图 5.7 所示）有很大不同，对于较小的光学厚度，Rosseland model 得出的温度场不合实际。

www.myCFD.cn

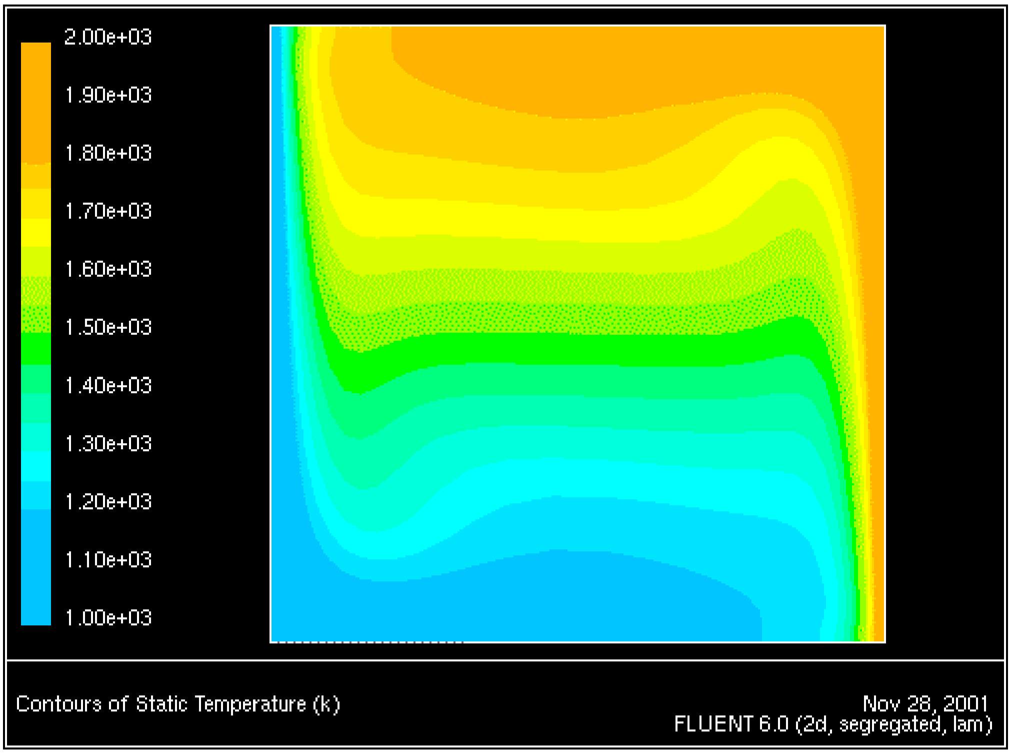


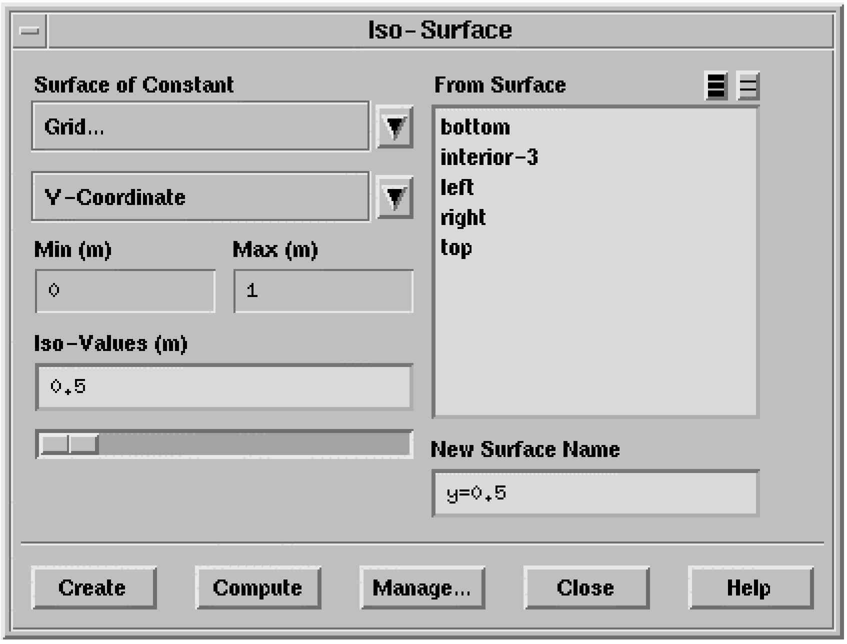
图 5.7： 无辐射时温度的等势图

4. 沿着水平中心线显示 y 向速度图。

（1） 在 y=0.5 处，沿着箱体的中心处的水平线创建一个切截面。

Surface →Iso-Surface...

www.myCFD.cn



ⅰ.在 Surface of Constant 下拉列表中选 Grid...，在下面的列表中选 Y-Coordinate。

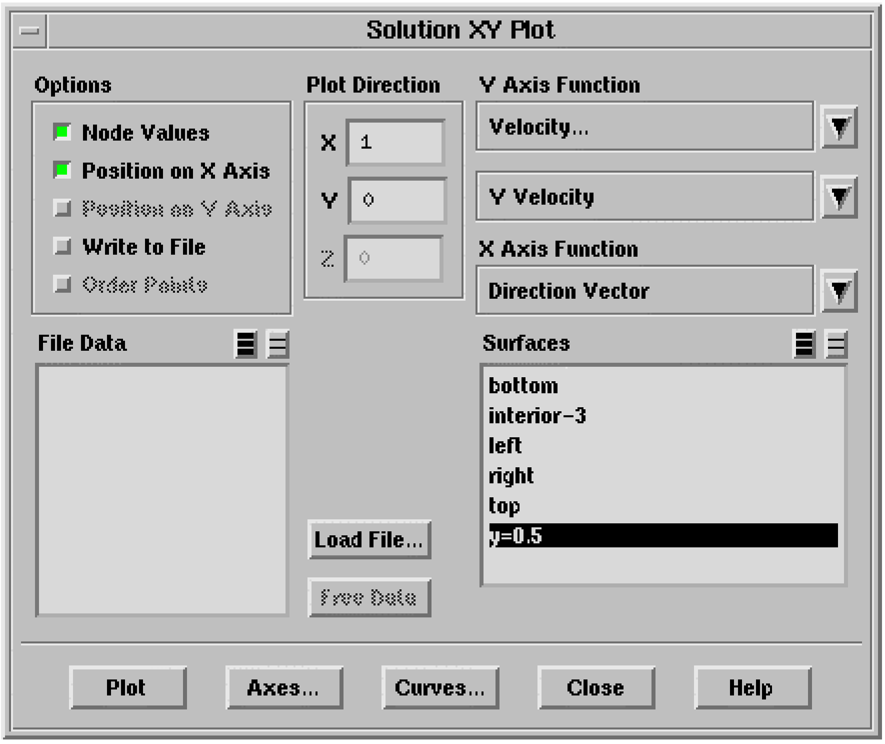
ⅱ.单击 **Compute**，看计算域的范围。

iii. 在 **Iso-Values** 中设定值为 0.5，将 **New Surface Name** 改为 y=0.5.

ⅳ.单击 **Create** 来创建切截面。

（2） 在切截面上创建 y 向速度的 XY 散点图。

Plot →XY Plot...



ｉ．在 **Plot Direction** 中检查 x=1,y=0.

定义 *Plot Direction* 向量为（1，0），fluent 选择 x 为自变量，其他变量为 x 的函数，因此在在 y 向横截面上显示速度剖面图，x 向为速度的因变量。

ⅱ.在 **Y Axis Function**.中选择 **Velocity...** 和 **Y Velocity**。

ⅲ.在 **Surfaces** 列表中选 y=0.5 面

ⅳ.单击 Plot.。

www.myCFD.cn

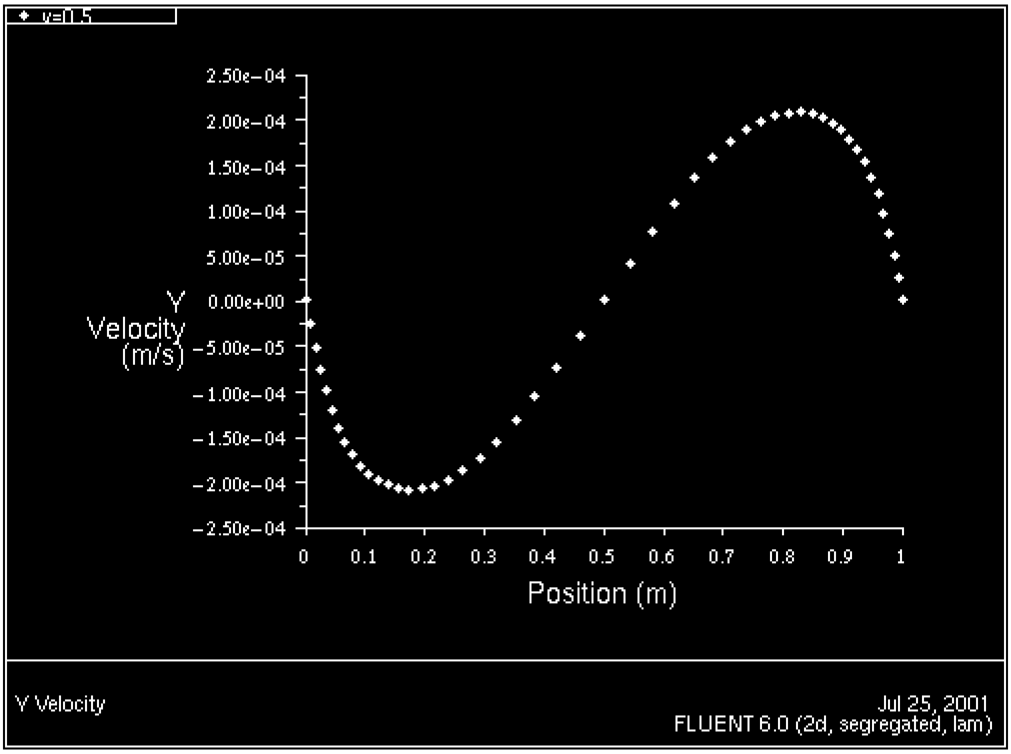


图 5.8： Rosseland 模型的中心线处 y 方向速度的坐标曲线图

在速度剖面图中，右侧热墙呈现上升趋势，左侧冷墙呈现下降趋势。和无辐射情况对比，Rosseland Model 的速度剖面图显示出更厚的墙层。就如前面讨论过的一样，aL=0.2 对应的剖面图应该和无辐射时的相似。

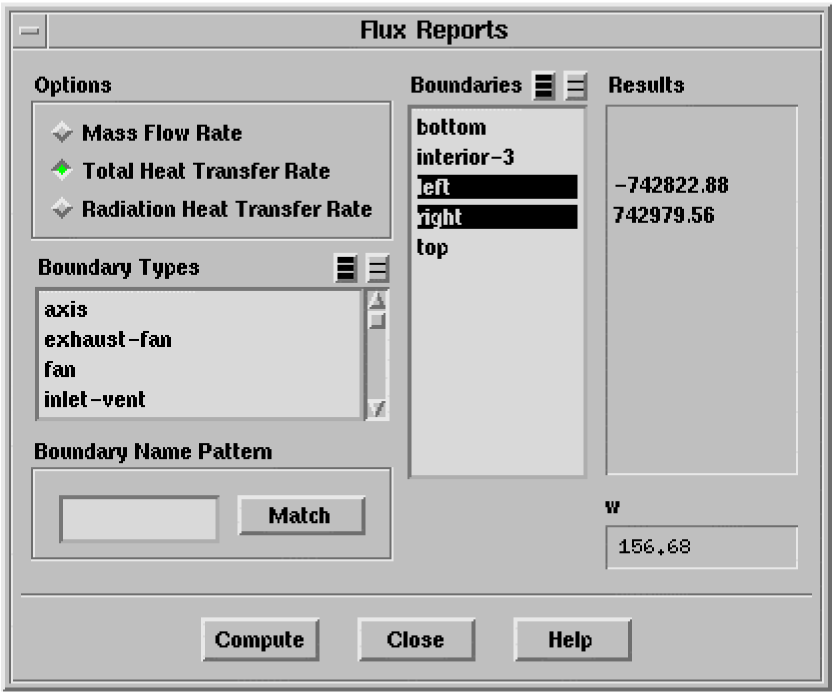
（3） 将绘图数据存储文件。

ⅰ.在面板中选择 **Write to File** 命令，单击 **Write...按钮**。

ⅱ.在接下来的 **Select File** 对话框中，在 **XY File** 文本输入框中输入文件名，单击 OK 即可。

计算每个侧墙的总的壁面热通量。

Report →Fluxes...



（1） 在 **Options** 下选择 **Total Heat Transfer Rate**。

（2） 在 **Boundaries** 下选择 **right** 和 **left**。

（3） 单击 **Compute** 按钮。

热墙和冷墙总的传热率大约为 7.43×10^5,两侧墙上总的热通量大致平衡。

保存 case 和 data 文件（rad_ross.cas 和 rad_ross.dat）

File →Write →Case & Data...

在这你学会了如何用 Rosseland model 来解决自然对流中的辐射问题，还学了如何对结果进行后处理。 接下来，将会激活 P-1 model 来计算，并与 Rosseland model 得到的结果进行对比。

第 7 步： P-1 模型定义、求解及后处理

现在你将要用 P-1 model 重复一下上面的计算，主要的步骤和 Rosseland model 中提到的一样。

1. 激活 P-1 model。

   Define →Models →Radiation...

2. 对所有的墙设定其发射率为 1。

   Define →Boundary Conditions...

对每个墙壁边界，在 wall 面板中的 **Thermal** 下将会有一个新的一项，即 **Internal Emissivity**，保持默认值 1 即可。

3. 修改欠松弛因子。

   Solve →Controls →Solution...

（1） 在 **Under-Relaxation Factor**s 中设置 P1 为 1.0，对 Pressure, Momentum, 和 Energy 项保持默认的值（0.3，0.7，1.0）

注意，P1 模型中要解一个额外方程，因为 P1 可以求解额外的辐射输运方程。在较小的光学厚度时因为没有辐射和温度方程之间的耦合，所以 P1 模型能相对简单的收敛。因此 P1 模型时可以采用较大的欠松弛因子。

4. 保存 case 文件（rad_p1.cas）。

   File →Write →Case...

5. 设定 200 步继续进行计算。

   Solve →Iterate...

P1 模型在大约 115 步时收敛。

6. 保存 data 文件（rad_p1.dat）。
7. 检查 P1 模型的结果。

注意：接下来的步骤不包括详细的说明 ，因为和上一步 Rosseland 模型一样，

如果需要详细说明的话见第六步 ***Postprocessing for the Rosseland Model*** 内容。

（1） 显示速度矢量图（见图 5.9 所示）

Display →Vectors...

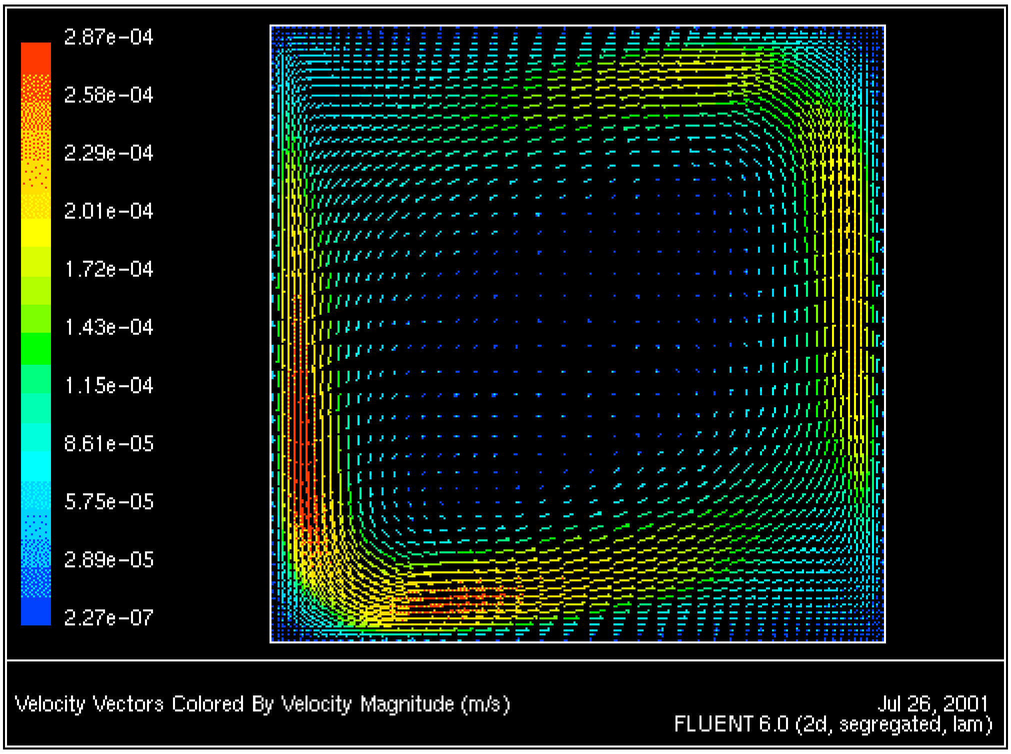


图 5.9： P-1 模型的速度矢量图

（2） 沿着水平中心线显示出 y 向的速度分布（图 5.10），存储数据到文件 rad_p1.xy 中。

Plot →XY Plot...

注意：你必须在 Y Axis Function. 重新选择 Y Velocity，并且关闭 Write to File 按钮，单击 Plot 才能生成散点图。

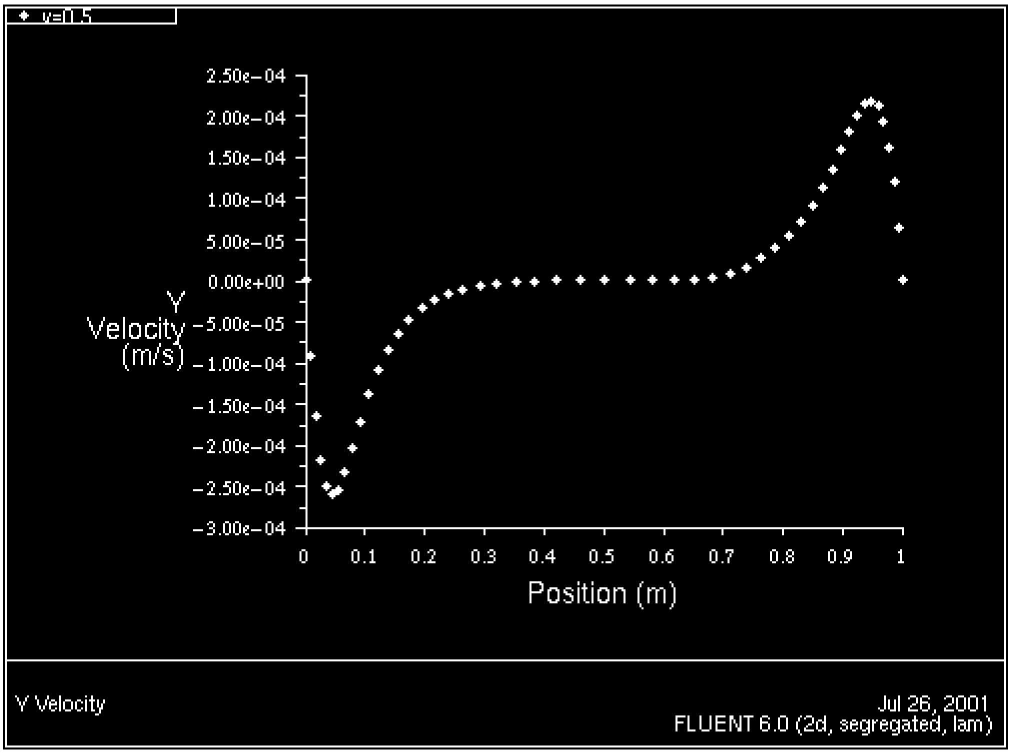


图 5.10： P-1 模型的中心线处 y 方向速度的坐标曲线图

（3） 计算总的墙壁热传递率。

Report →Fluxes ...

右墙上总的热传递率为 8.47×10^{5}W，两侧墙上热量的不平衡也可以大致忽略，接下来可以看见 Rosseland 和 P-1 模型得到的热传递率与 DTRM and the DO 模型得到有很大不同。

注意 P-1 模型得到速度矢量和 y-速度和 Rosseland 模型得到的区别。P-1 模型的速度剖面图沿着热墙和冷墙有一个明显的动量边界层。这个剖面图和不考虑辐射时得到的图很相似（图 5.11 和 5.12）。尽管 P-1 模型对薄的光学厚度不是很合适，但是却能生成正确的速度剖面图，因为能量方程中的辐射源项很小，辐射源项与吸收系数成正比。Rosseland 模型应用一个有效的传导率来解决辐射

www.myCFD.cn

作用，产生错的温度场，从而得到错误的速度场。

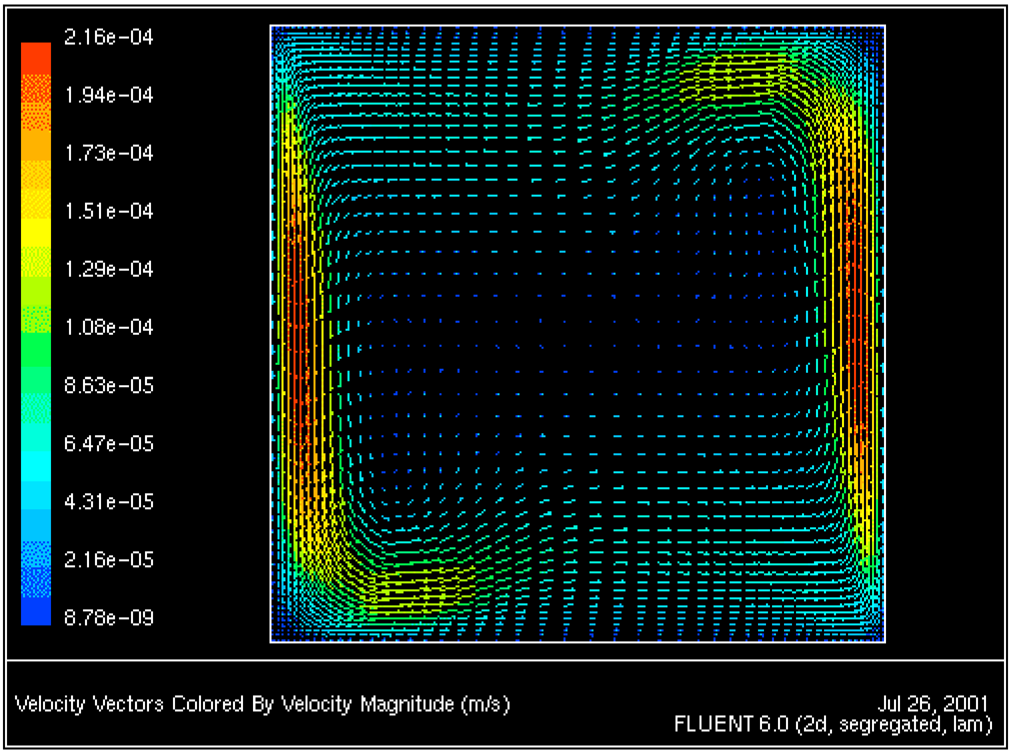


图 5.11：无辐射时的速度矢量图

www.myCFD.cn

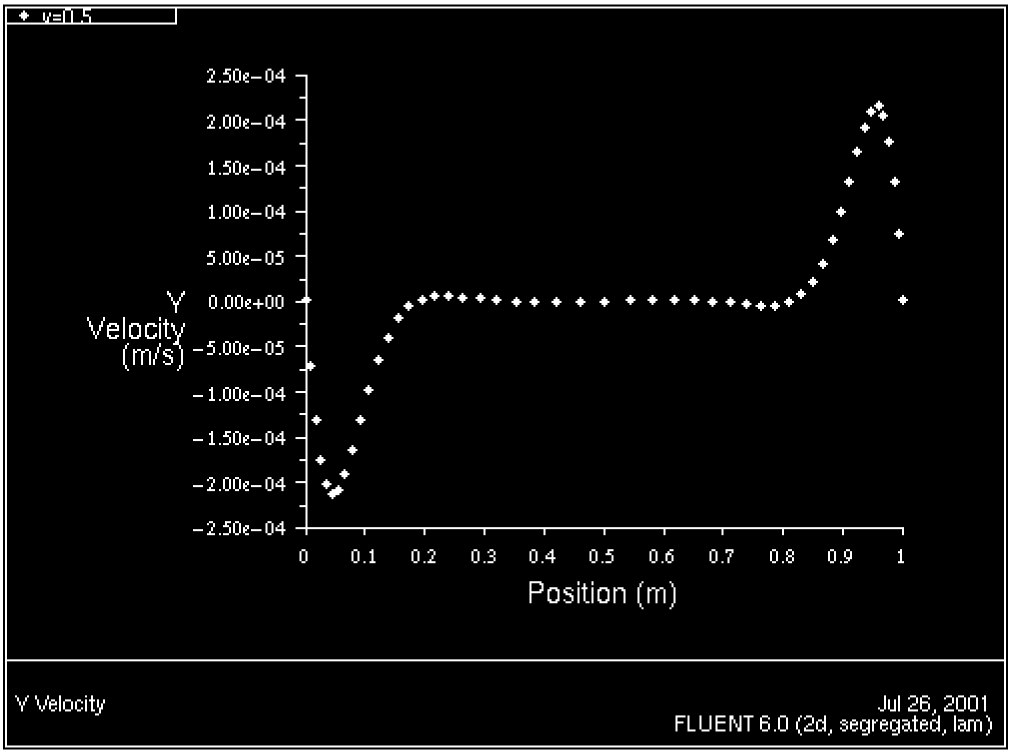


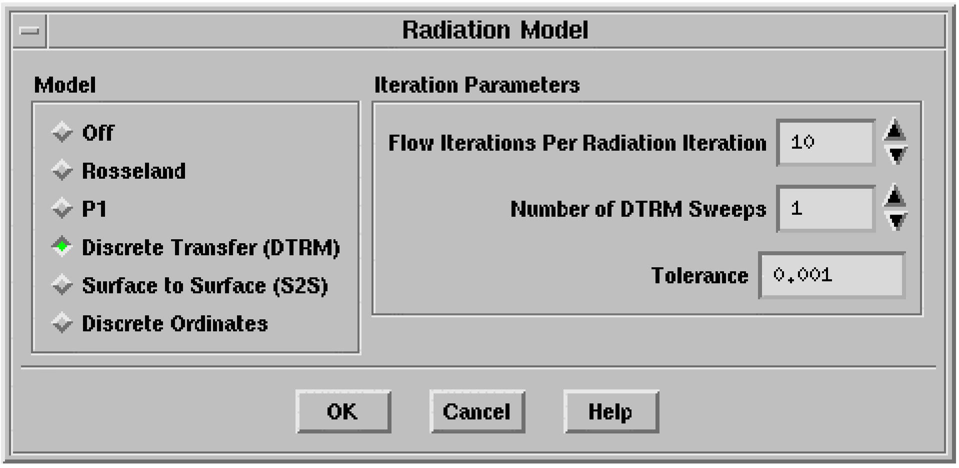
图 5.12： 无辐射时的中心线处 y 方向速度的坐标曲线图

第 8 步： DTRM 模型定义、求解及后处理

1. 激活离散传递辐射模型（DTRM），定义射线轨迹。

   Define →Models →Radiation...

www.myCFD.cn

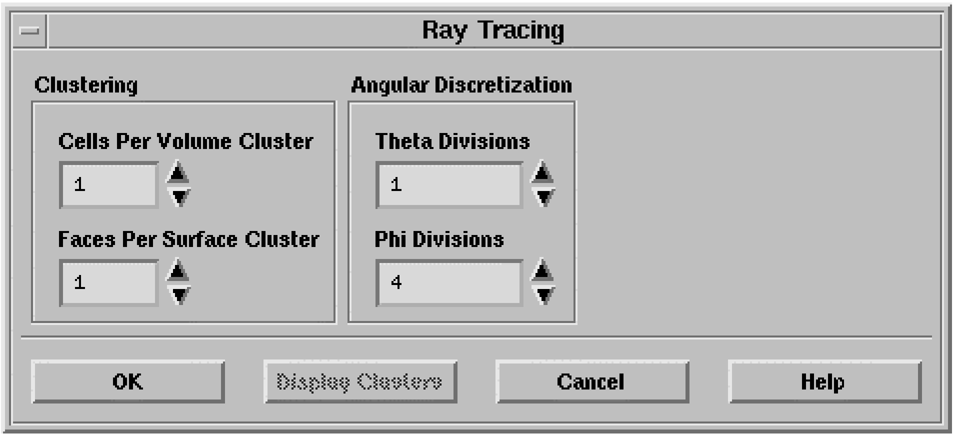


(1)在 **Model.**下选择 **Discrete Transfer**

面板会自动扩展开，显示相应的输入项。

(2) 保持默认值，单击 OK 即可

Ray Tracing 面板会自动打开。



(3)在 Clustering 和 Angular Discretization 两项中保持默认值，单击 ok.

当单击 ok 之后，Fluent 会打开一个 Select File 对话框，你可以给射线定义名称。关于射线跟踪部分的详细内容可参见 User's Guide。简言之，Cells Per Volume Cluster 和 Faces Per Surface Cluster 的数目控制辐射面和吸收单元的总数。对于二维问题，默认值 1 就可以了。但是，对于大一点的

www.myCFD.cn

问题，就需要增加这个数来减少射线所需的内存了。Theta Divisions 和 Phi Divisions 控制每个表面束产生的射线数。对于实际问题，默认值就足够了。

(4) 在 **Select File** 对话框中的 **Ray File** 文本框中输入射线文件的名称 rad_dtrm.ray，再单击 ok.

Fluent 会在控制窗口中显示射线跟踪创建的信息。

2. 保持默认压力，动量和能量项的欠松弛因子（0.3，0.7，1.0）。

Solve →Controls →Solution...

3. 保存 case 文件（rad_dtrm.cas）。

File →Write →Case...

4. 设定 100 步继续进行计算。

Solve →Iterate...

计算将会在 80 步左右收敛。

5. 保存 data 文件（rad_dtrm.dat）。

File →Write →Data...

6. 检查 DTRNM 模型的计算结果。

注意：接下来的步骤不包括详细的说明 ，因为和上一步 Rosseland 模型一样，如果需要详细说明的话见第六步 ***Postprocessing for the Rosseland Model*** 内容。

（1） 显示速度矢量图（ 图 5.13）

Display →Vectors...

www.myCFD.cn

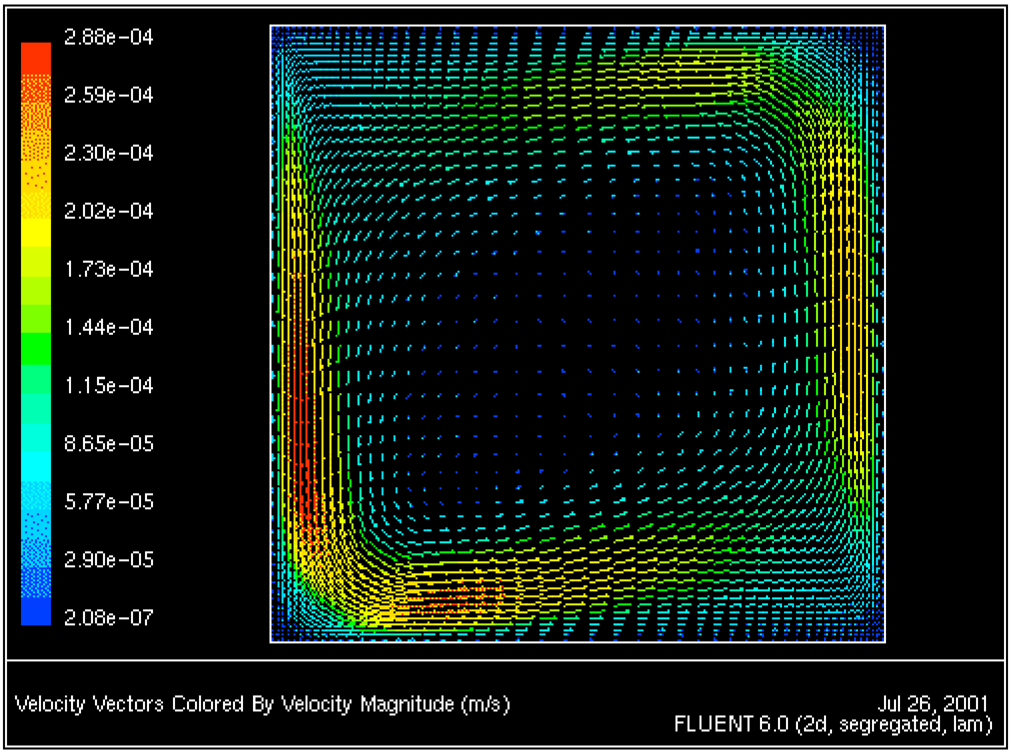


图 5.13：DTRM 模型的速度矢量图

（2）沿着水平中心线显示出 y 向的速度分布（图 5.14），存储数据到文件 rad_dtrm.xy 中。

Plot →XY Plot...

注意：你必须在 Y Axis Function. 重新选择 Y Velocity，并且关闭 Write to File 按钮，单击 Plot 才能生成散点图。

www.myCFD.cn

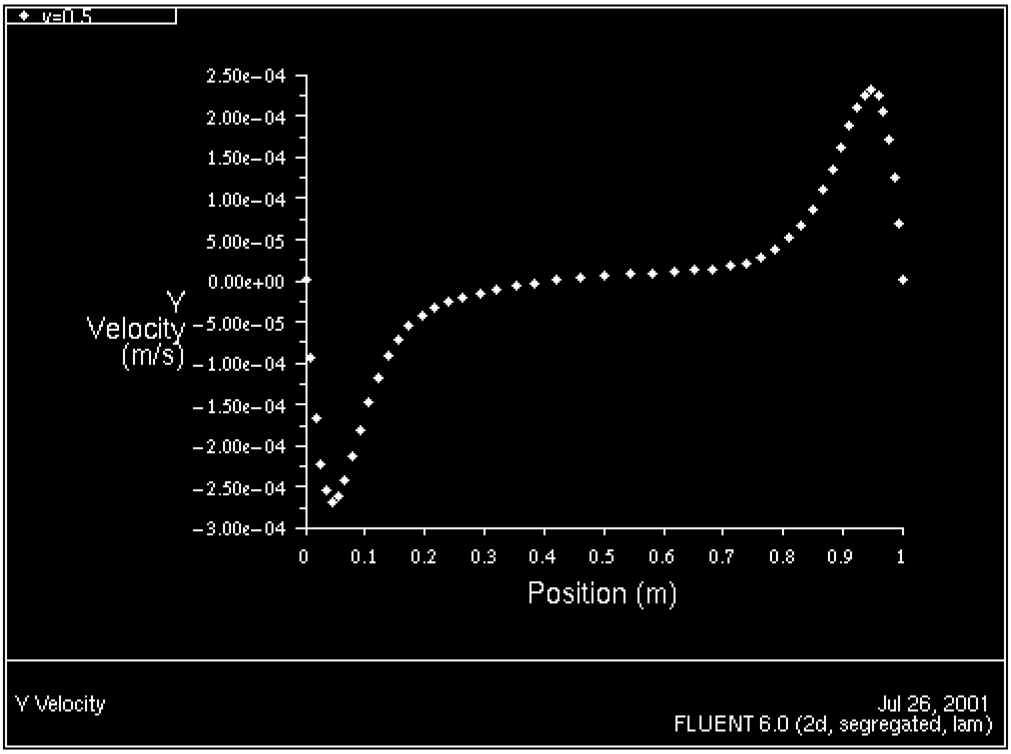


图 5.14： DTRM 模型的中心线处 y 方向速度的坐标曲线图

（3）计算总的墙壁热传递率。

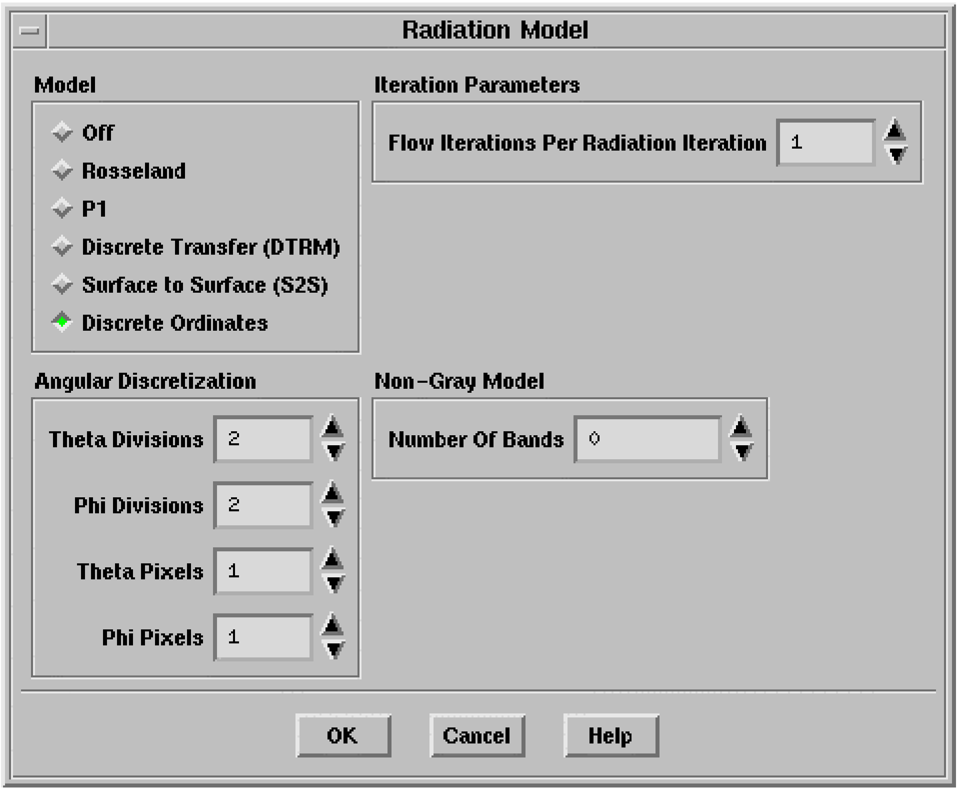
Report →Fluxes ...

右墙的总的热传递率为 6.06×10^{5}W，明显比 Rosseland and P-1 模型预测的值低。

第 9 步： DO 模型定义、求解及后处理

1. 激活离散坐标（DO）模型，设定角离散系数（angular discretization） .

Define →Models →Radiation...



（1）Model 下选择 Discrete Ordinates。

面板自动扩展开显示你需要输入的 DO 参数。

（2） 设定 Flow Iterations Per Radiation Iteration 为 1。

这是一个相对简单的流动问题，很容易收敛，因此可以流动计算一次就可以 DO 计算一次。对收敛复杂些的问题，就需要在解辐射计算的时候先确定流动计算。在这种情况下，就需要设定 **Flow Iterations Per Radiation Iteration** 为一个更高的数值，比如 10。

（3） 对 **Angular Discretization** 和 **Non-Gray Model** 项保持默认值。

在 DO 模型中关于 **Angular Discretization** 的细节可以参见 *User's Guide.对* **Non-Gray Model** 模型来说，**Number of Bands** 为 0，因为算例中只涉及到灰体辐射。

注意：当在 ***Radiation Model 面板***单击 ok 时，Fluent 会提示信息，告诉你新的材料物性被添加了，这个带有折射性的物性是为 DO 模型准备的， 只和

www.myCFD.cn

模拟半透明介质有关。在这没有模拟半透明介质，所以只需单击 OK 即可关闭此信息提示框。

2. 对 Pressure, Momentum, 和 Energy 项的欠松弛因子保持默认的值（0.3，0.7，1.0），同时也对离散坐标输运方程保持默认的欠松弛因子为 1。

Solve →Controls →Solution...

3.保存 case 文件（rad_do.cas）。

File →Write →Case...

4. 设定 100 步继续进行计算。

Solve →Iterate...

计算会在大约 25 步左右收敛。
5.保存 data 文件（rad_do.dat）。

File →Write →Data...

6.检查 DO 模型的计算结果。
注意：注意：接下来的步骤不包括详细的说明 ，因为和上一步 Rosseland 模型一样，如果需要详细说明的话见第六步 ***Postprocessing for the Rosseland Model*** 内容。

（1）显示速度矢量图（ 图 5.15）

Display →Vectors...

www.myCFD.cn

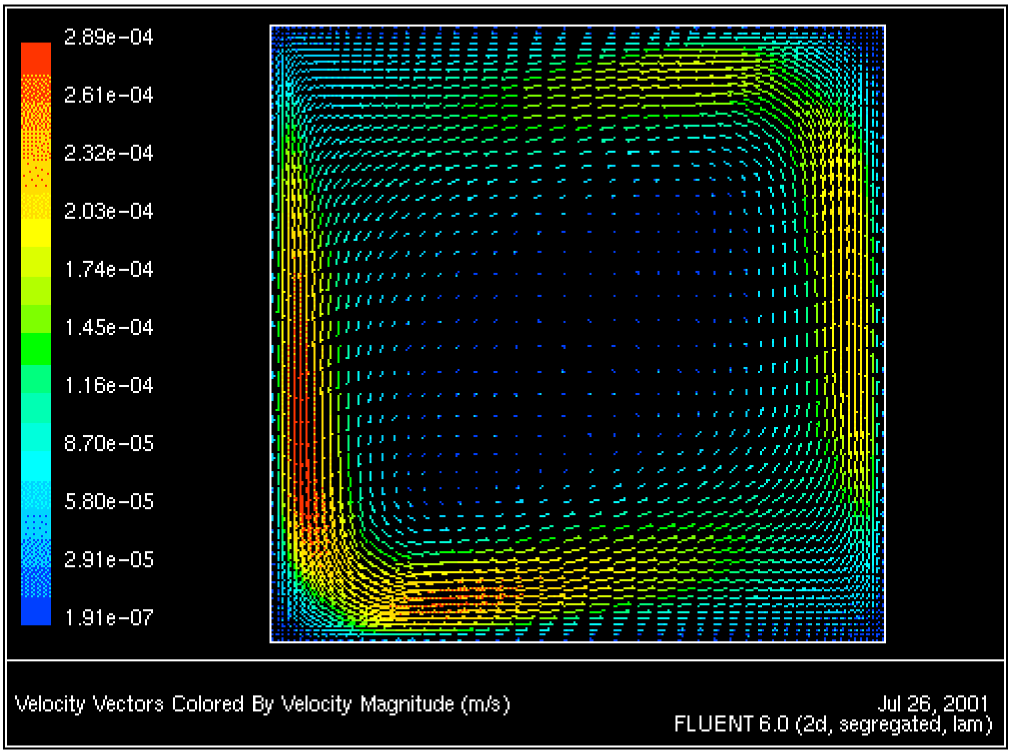


图 5.15：DO 模型的速度矢量图

（2）沿着水平中心线显示出 y 向的速度分布（图 5.16），存储数据到文件 rad_do.xy 中。

Plot →XY Plot...

注意：你必须在 Y Axis Function. 重新选择 Y Velocity，并且关闭 Write to File 按钮，单击 Plot 才能生成散点图。

www.myCFD.cn

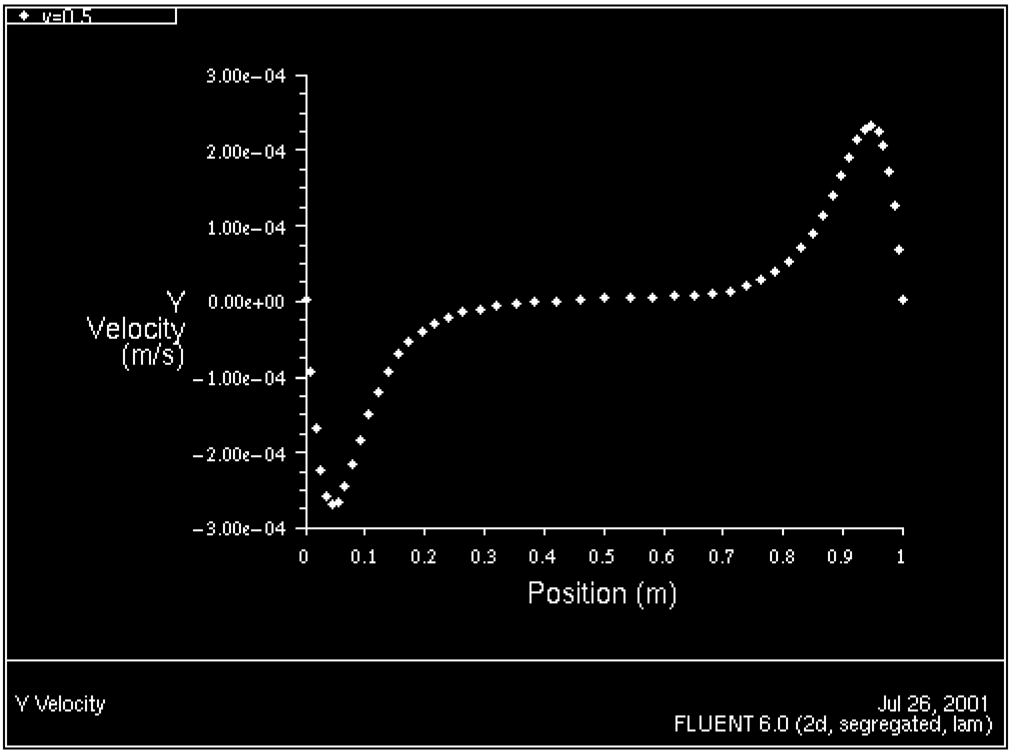


图 5.16： DO 模型的中心线处 y 方向速度的坐标曲线图

（3）计算总的墙壁热传递率。

Report →Fluxes ...

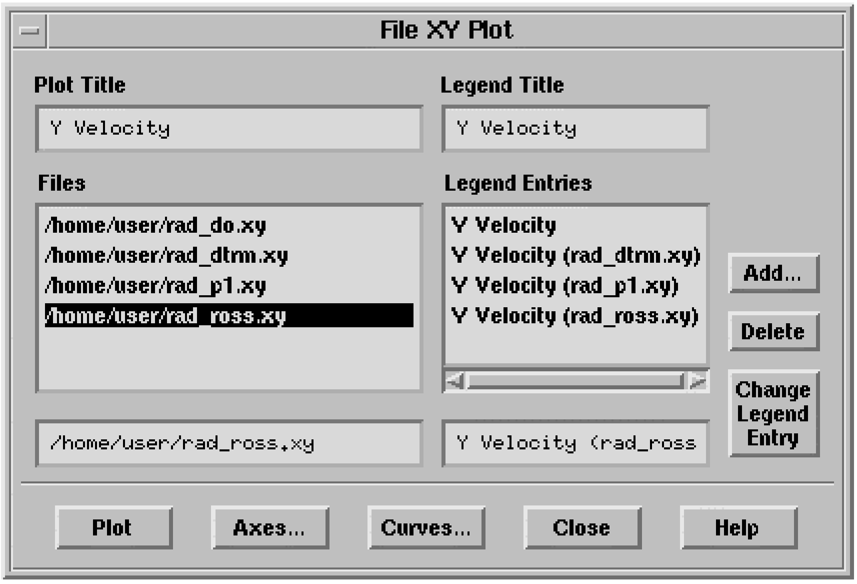
右墙的总的热传递率为 6.12×10^5W，比 DTRM 模型预测的结果高出 1.5%。DO 模型和 DTRM 模型有可比性，但是 Rosseland and P-1 模型得到的结果就有很大差别。DO 模型和 DTRM 模型在整个光学厚度范围内都有效，用它们计算得到的热传递率和真实结果很接近。

第 10 步 y 向速度的比较

在这一步里将会读入先前用不同的辐射模型计算所存的散点文件，在一个图中进行比较。

Plot →File...

www.myCFD.cn



1. 读入所有的 XY 散点文件。

（1） 单击 **Add...**。

（2） 在 **Select File** 对话框中，在 Files 列表中选择 **rad_do.xy**，**rad_dtrm.xy**, **rad_p1.xy**, and **rad_ross.xy**。

（3） 单击 OK 加载以上四个文件。

2. 单击 **Plot**.

另外：可以在 **File XY Plot** 中单击 ***Curves...***来打开 Curves 面板。在此可以未不同的曲线定义不同的类型。在图 5.17 中，每个曲线都选了不同的符号。

3. 对图形窗口调整大小和进行移动，以便可以看见图中的信息。

（1） 在一角上按住任何一个鼠标键，拖动鼠标到合适的位置，来调整窗口的大小。

（2） 在窗口的任一位置按住鼠标的任何一键，拖动到任何区域，即可移动窗口。

Figure 5.17: Comparison of Computed *y* Velocities for *aL*=0.2

www.myCFD.cn

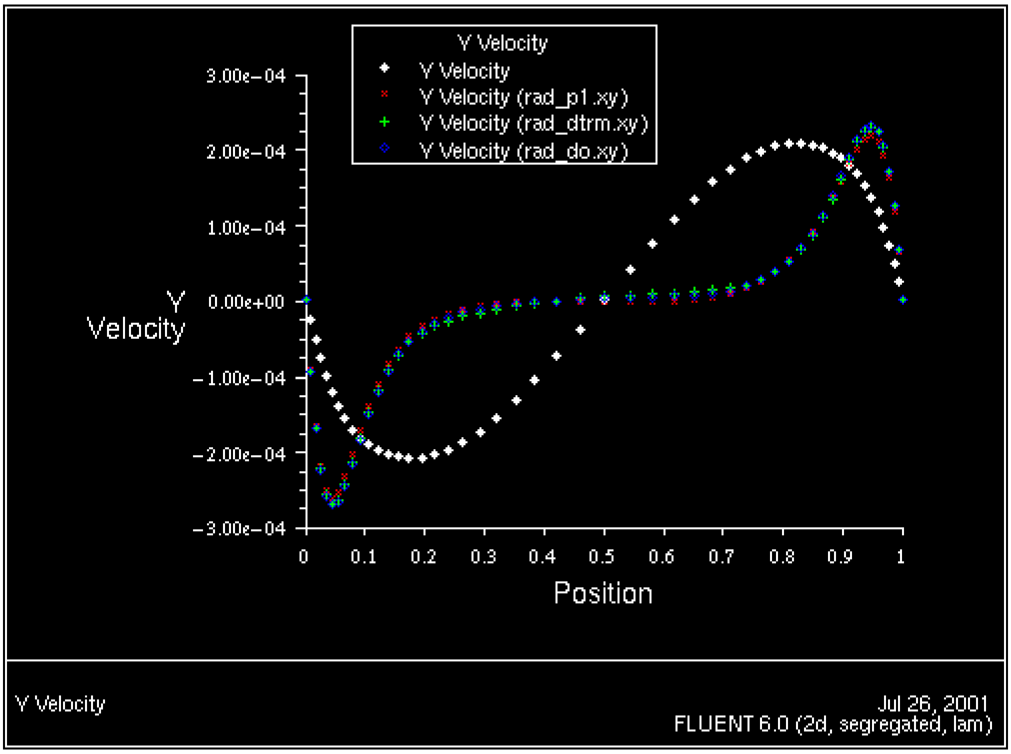


图 5.17 光学厚度 al=0.2 时的 y 方向速度的比较

注意：在图 5. 17 中，P-1，DTRM 和 DO 模型的速度剖面图很接近。尽管预测的墙热传递率有些不同，这是因为对于较小的光学厚度，速度场不依赖辐射场，这三个模型给出的流场与不考虑辐射时很接近。而 Rosseland 模型给出的结果是错误的。

第 11 步： 同一光学厚度下辐射模型的比较

在前面几步中，已经将四个辐射模型在较小的光学厚度 aL=0. 2 时进行了比较，发现在光学厚度较小的情况下，P-1, DTRM 和 DO 模型预测到的速度场非常相似，并且接近于无辐射时的情况。DTRM 和 DO 模型的墙面的热传递率非常接近，但是和 Rosseland and P-1 模型得到的结果有很大不同。在这步里，将会针对另外一种情况 aL=5 运用各个模型重新进行计算。这需要将吸收系数的值从 0. 2 增大到 5。你将在已经存储好的 case 和 data 文件中重复设定一些

参数。

1. 对每个辐射模型，求解 aL=5 时的情况。

（1） 读入先前存好的 case 和 data 文件。（比如 rad_ross.cas and rad_ross.dat）

File →Read →Case & Data...

（2） 设置吸收系数为 5。

这将会使光学厚度 aL 变为 5，因为 L=1.

Define →Materials...

(3) 计算直至新的解法收敛。

Solve →Iterate...

注意：对于 DTRM 模型，必须重复的单击 **Iterate** 按钮，直到辐射场被更新为止。由于在辐射面板中 **Flow Iterations Per Radiation Iteration** 数值为 10，很可能辐射场在 9 次迭代后也不会被更新，尽管 Fluent 报告说已经收敛了。如果这种情况发生的话，不断单击 **Iterate** 按钮，直到辐射场被更新为止，迭代可能进行多次才行。

（4）用不同的文件名保存新的 case 和 data 文件（比如 rad_ros5.cas 和 rad_ros5.dat）。

File →Write →Case & Data...

（5）计算墙壁总的热传递率。

Report →Fluxes...

（6）沿着水平中心线显示 y-速度，保存散点数据（比如 rad_ros5.xy）。

Plot →XY Plot...

2. 对四个模型计算的热传递率进行比较。

由四个模型计算得到的墙壁热传递率在 3.50×10^5——3.97×10^5W 之间。

3. 在一个散点图中比较 y-速度剖面图（如图 5.18）。

Plot →File...

在 **File XY Plot** 面板中应用 **Delete** 来移出不用的 XY Plot 文件。

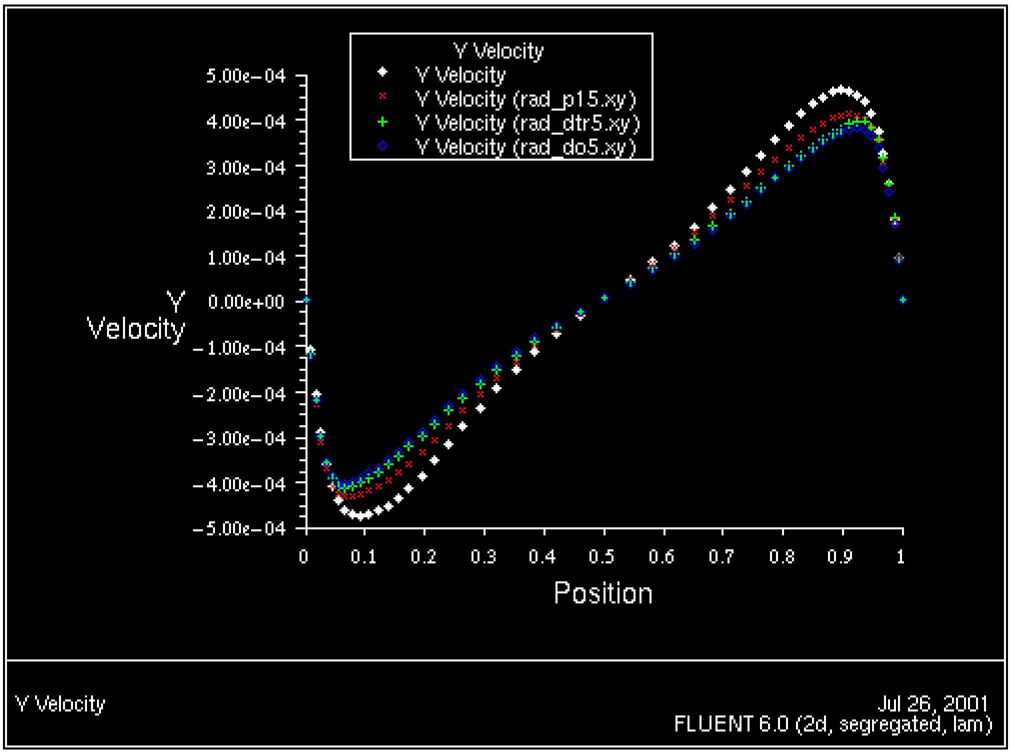


图 5.18 光学厚度 al=5 时的 y 方向速度的比较

P-1, DTRM 和 DO 模型的 y-速度的散点图非常接近，Rosseland 模型稍微有些不同，但是误差也在 10%之内。对于光学厚度较大的情况，P-1 和 Rosseland 模型比较合适。而 DTRM 和 DO 模型对任意光学厚度都有效。因此当 aL=5 时得到相同的结果，对于大多数光学厚度较大的情况，推荐使用 P-1 和 Rosseland 模型，因为耗时少。

www.myCFD.cn

第 12 步：无辐射介质时 S2S 模型定义、求解及后处理

在前面几步中，对于不同的光学厚度 aL=0.2 和 aL=5 运用四种不同的辐射模型进行了比较。面对面的辐射模型 S2S 不能处理有辐射介质的问题。S2S 模型假设所有的面均为灰体，具有扩散性，因此根据灰体模型，如果有一定量的辐射发生在某一表面，一部分会被反射，一部分被吸收，一部分被传播。

在大多数应用问题的表面在热辐射时是不透明的（对红外线而言），因此表面可被考虑为是不透明的。透射率可被忽略。在 S2S 模型中吸收系数被认为是 0。

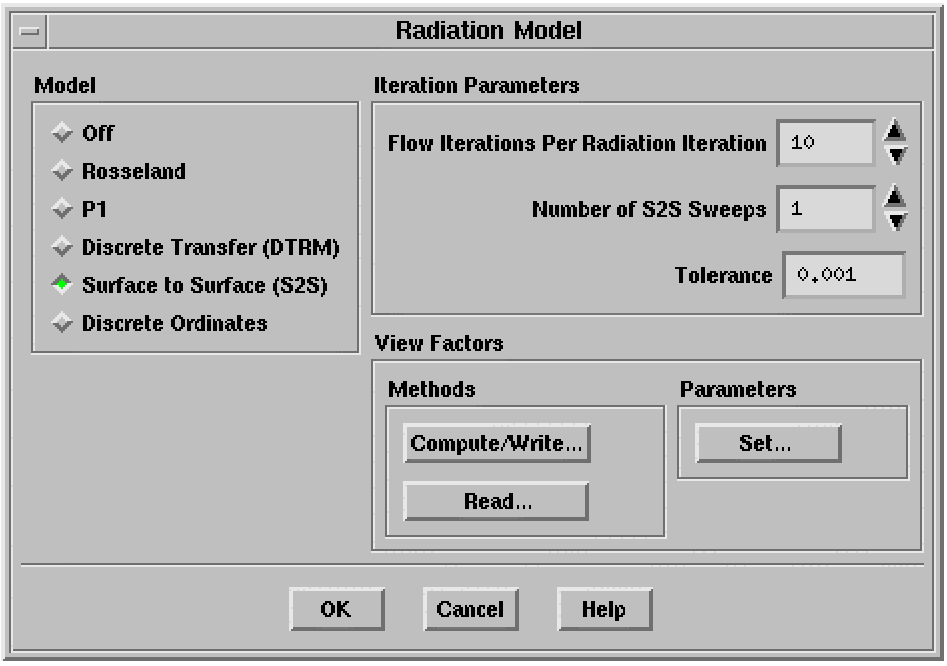
在这一步，你将会用 S2S 模型计算 aL=0 的情况。在下一步里，会用 DTRM 和 DO 模型来计算 aL=0 的情况，并比较三种模型的结果。P-1 和 Rosseland 模型在这不被考虑是因为算例中已经说明 P-1 和 Rosseland 模型不适合于光学厚度小的情况。

激活 S2S 模型，并设置相应的参数（view factor and cluster parameters）。

Define →Models →Radiation...

（1） 在 **Model.**下选择 **Surface to Surface**。

面板会扩展开来，显示额外的模型参数的输入。

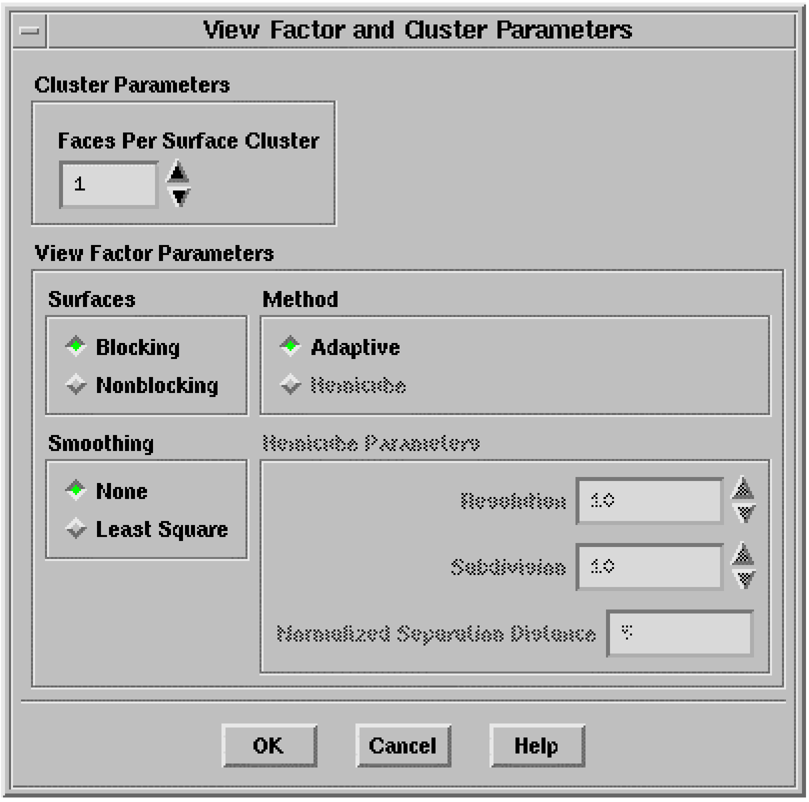


www.myCFD.cn

（2） 设置 view factor and cluster parameters。

ⅰ.在 **Parameters** 下单击 **Set...**

View Factor and Cluster Parameters 面板会自动扩展开来。



ⅱ保持默认值，单击 OK 即可。

当有很多辐射面时，运用 S2S 模型会消耗很多计算机资源。辐射面的数量通过聚集一些面使其成为面束（*surface ``clusters"*）。面束的形成是通过从一个面出发，加上它的邻面，以及邻面的邻面直到指定数目的面束形成。对二维问题，**Faces Per Surface Cluster** 默认值是 1 是可以接受的。对于计算量的问题就需要增加这个值来减少存储 view factor 文件时对内存的需求。这样可以减少内存需求但是是以精度降低为代价的。

使用 ***Blocking*** 可以使任何夹在两相对面之间的面在视角因子计算时被考虑到。在这个问题中两个墙之间没有阻挡，因此选 **Blocking** 和 **Nonblocking**

www.myCFD.cn

的效果都一样。在 ***Smoothing*** 中默认为 **None**，对于较小的问题只是合适的。选 **Least Square** 会有更高的精度，但也花费更多的计算机资源。关于 view factor and cluster parameters 部分的内容可参阅 *User's Guide*。

（3） 计算 S2S 模型的视角因子。

这一步只是在第一次解决问题的时候需要，后来的计算过程中可以直接读入已存在的视角因子和面束的信息（通过单击 ***Read...*** 而不是单击 ***Compute/Write...***）。

ⅰ.在 **Radiation Model** 面板中的 **Methods** 下单击 Compute/Write。

Fluent 会自动打开选择文件的对话框，你可以指定视角因子和面束的信息所在的文件名。

ⅱ. 在 **Select File** 对话框中 **S2S File** 文本输入框中输入 **S2S** 的文件名 rad_s2s.s2s，单击 ok 即可。

Fluent 会显示出视角因子计算过程的详细信息。

2.保持当前默认的压力，能量和动量项的欠松弛因子（0.3，0.7 和 1.0）。

Solve →Controls →Solution...

3. 保存 case 文件（rad_s2s.cas）

File →Write →Case...

4. 设定 100 步继续进行计算。

Solve →Iterate...

计算在 80 步左右收敛。

5. 保存 data 文件（rad_s2s.dat）

File →Write →Data...

6. 检查 S2S 模型计算结果。

注意：注意：接下来的步骤不包括详细的说明 ，因为和上一步 Rosseland 模型一样，如果需要详细说明的话见第六步 ***Postprocessing for the Rosseland Model***

www.myCFD.cn

内容。

（1） 显示速度矢量（如图 5.19）

Display →Vectors...

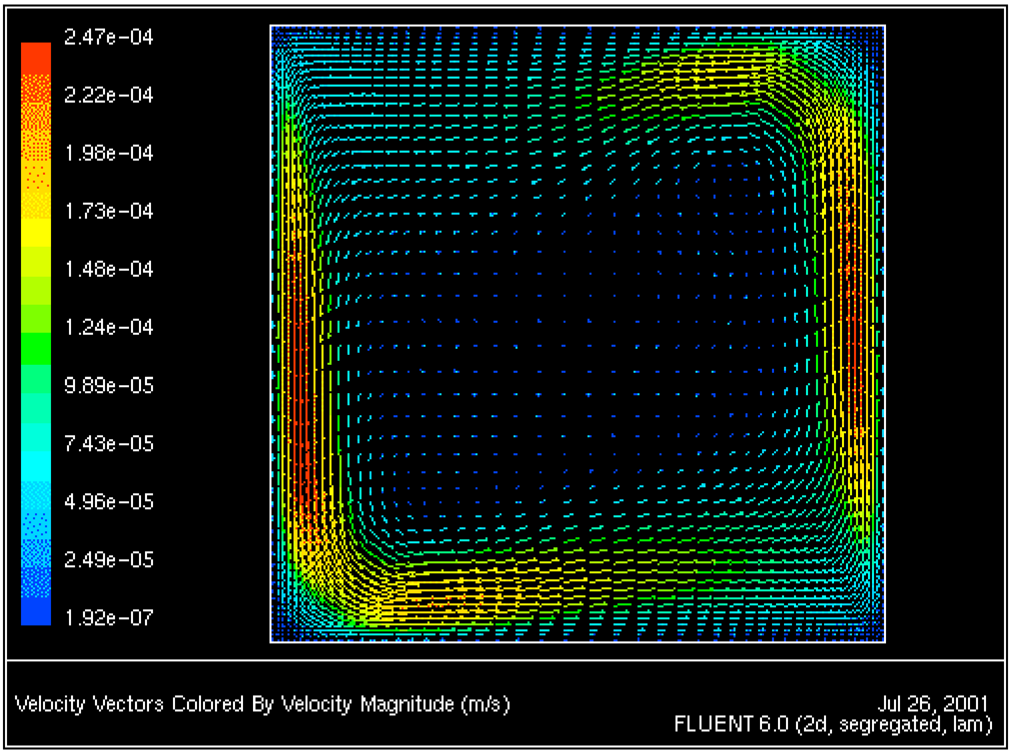


图 5.19：S2S 模型的速度矢量图

（2）沿着水平中心线显示出 y 向的速度分布（图 5.20），存储数据到文件 rad_s2s.xy 中。

Plot →XY Plot...

注意：你必须在 Y Axis Function. 重新选择 Y Velocity，并且关闭 Write to File 按钮，单击 Plot 才能生成散点图。

www.myCFD.cn

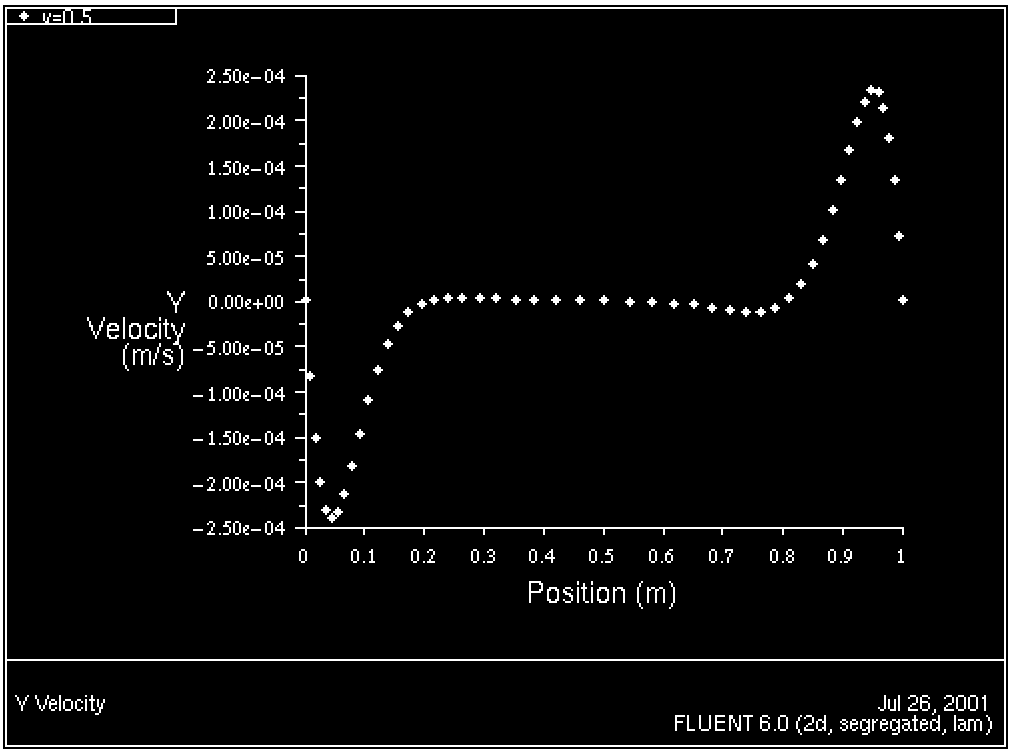


图 5.20： S2S 模型的中心线处 y 方向速度的坐标曲线图

（3）计算总的墙壁热传递率。

Report →Fluxes ...

右墙的总的热传递率为 6.77×10^5W。

第 13 步： 无辐射介质时辐射模型的比较

在这一步，将会用 DTRM 和 DO 模型来计算 aL=0 的情况，并和 S2S 模型的计算结果进行比较。

1. 用 DTRM 和 DO 模型来计算 aL=0 的情况。

（1）读入先前存储的 case 和 data 文件（比如 rad_dtrm.cas and rad_dtrm.dat）。

www.myCFD.cn

File →Read →Case & Data...

（2） 将吸收系数设置为 0。

这样就使光学厚度为 0。

Define →Materials...

（3） 计算使新的解法收敛。

Solve →Iterate...

（4） 存储新的 case 和 data 文件，用不同的名字（rad_dtr0.cas 和 rad_dtr0.dat）。

File →Write →Case & Data...

（5） 计算墙的总传热率。

Report →Fluxes...

（6）沿着水平中心线显示 y-速度，保存散点数据（比如 rad_dtr0.xy）。

Plot →XY Plot...

2. 三种辐射模型的传热率比较。

对于 S2S 模型计算得到的右墙热传递率为 6.77×10^5W。比 DTRM 模型得到的结果高 5%，比 DO 模型得到的结果高 1.5%。尽管三种模型得到的结果有可比性，但是考虑的问题是封闭区无介质的辐射传热。，因此还是 S2S 模型计算精度更高些。

3. 在同一个图中比较三种模型的 y-速度剖面图。

Plot →File...

（1） 在 **File XY Plot** 面板中用 **Delete** 移出多余的 XY 散点文件。
（2） 读入所需的 DTRM，DO 和 S2S 模型的 XY 散点文件。
（3） 单击 **Plot**。

www.myCFD.cn

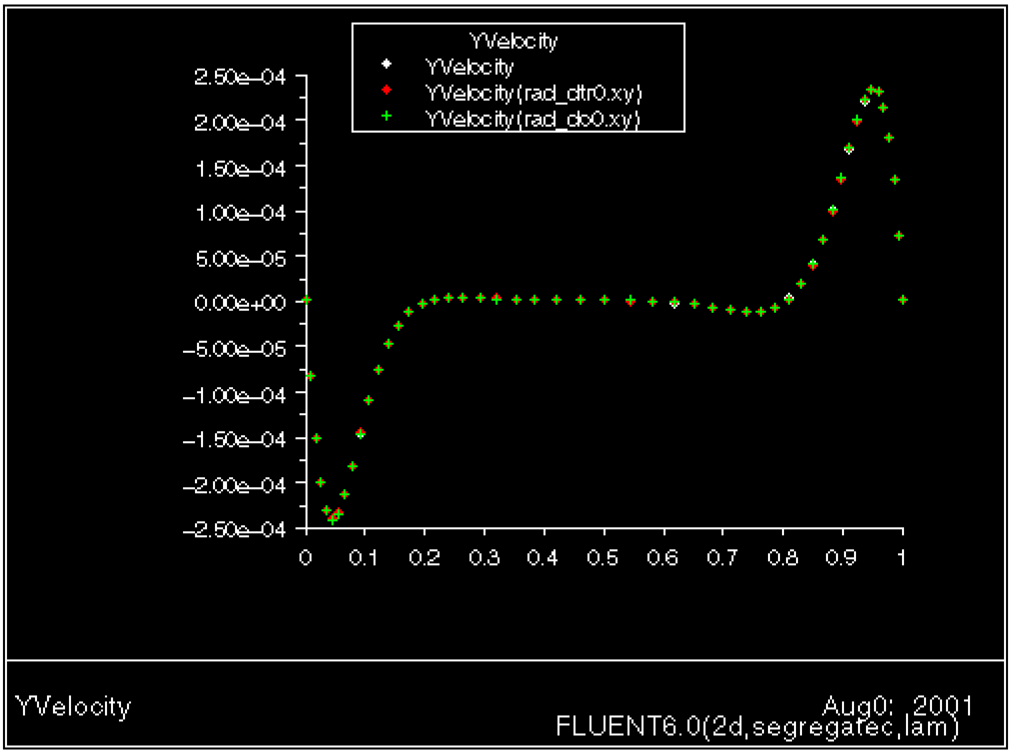


图 5.21 光学厚度 al=0 时的 y 方向速度的比较

在图 5.21 中 DTRM，DO 和 S2S 模型得到的速度剖面图非常接近，尽管得到的热传递率有些不同。

概要

在这个算例中研究了方箱内自然对流和辐射相结合的问题，并分别在光学厚度小和光学厚度大的情况下运用四种辐射模型进行了比较。在无介质的情况下，采用三种模型进行了比较。

1. 在光学厚度小的情况下，P-1 和 Rosseland 模型不适合，DTRM 和 DO 比较适合，而且得到了相近的结果。
2. 在光学厚度大的情况下，四种模型都适合，可产生相近的结果。在这个前提

www.myCFD.cn

下，P-1 和 Rosseland 模型由于占有更少的计算机资源，因此在工程应用中更广泛。

3. 封闭腔体内无介质的辐射传热时使用 S2S 模型计算是合适的，对有介质的情况，该模型有时候是无效的。

要知道几种辐射模型更详细的应用，请参见 User's Guide。

www.myCFD.cn